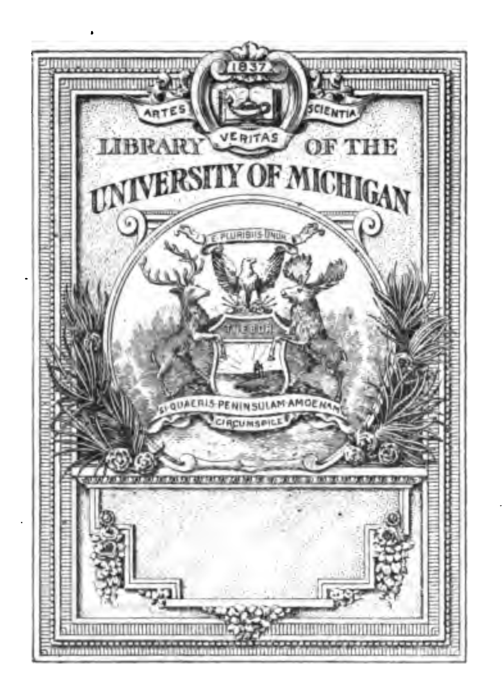
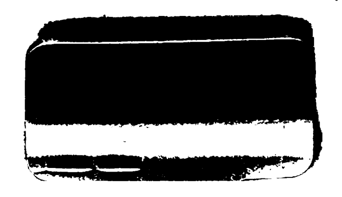
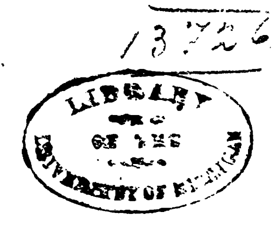



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



J. Ritter von Hauer,

Ventilationsmaschinen der Bergwerke.



Die

Ventilationsmaschinen

der

Bergwerke.

Von

Julius, Ritter von Hauer,
Professor der Berg- und Hüttenmaschinenlehre an der k. k. Bergakademie zu Leoben.

Mit 7 lithographirten Tafeln.

Leipzig,
Verlag von Arthur Felix.
1870.

Vorrede.

Mit dieser Schrift beabsichtigt der Verfasser eine systematisch geordnete Zusammenstellung der zur Ventilation der Gruben benützten mechanischen Vorrichtungen zu liefern, auf Theorie und Erfahrung gegründete Regeln zur Construction der wichtigsten unter denselben zu geben und durch Kritik die Auswahl der zweckmässigsten davon zu erleichtern. Da eine die genannten Richtungen verfolgende und dem gegenwärtigen Stande des Faches entsprechende Darstellung fehlt, bei der steigenden Wichtigkeit einer guten Ventilation der Gruben aber dem Fachpublikum nicht unerwünscht sein dürfte, glaubt der Verfasser die vorliegende Bearbeitung, wenn sie auch in mancher Hinsicht unvollkommen sein mag, der Oeffentlichkeit übergeben zu können.

Eine eingehende Betrachtung ist darin besonders jenen Ventilationsmaschinen gewidmet, welche in der Praxis bereits Verwendung gefunden haben. Wenn dieses nähere Studium auch auf einige Apparate ausgedehnt wurde, die bisher nur im Projecte existiren, wie die Ventilatoren von Nyst und Jarolimek, so geschah dies entweder, weil deren sinnreiche Construction ein wissenschaftliches Interesse bietet, oder weil sie in der That Aussicht auf erfolgreiche Anwendung besitzen; das letztere gilt namentlich vom Heger'schen Ventilator, der für Gruben nach Wissen des Verfassers bisher keine Benützung gefunden hat.

Da diese Abhandlung nicht den Zweck hat, eine vollständige Lehre von den Luftbewegungsmaschinen überhaupt zu geben, so erstreckt sie sich nur auf Ventilationsapparate, welche für bergmännische Zwecke ausgeführt, versucht oder vorgeschlagen wurden, und setzt anderseits die ohnedies in mehreren Werken ausführlich enthaltene Theorie über Bewegung und Verhalten der Luft als bekannt voraus. Desgleichen erscheinen bezüglich der Centrifugalventilatoren nur die Resultate der an anderen Orten entwickelten Rittinger'schen Theorie aufgenommen.

Die Tafeln enthalten theils Skizzen, theils nach dem Massstabe ausgeführte Zeichnungen. Insbesondere ist eine Anzahl der in den Beispielen für gleiche Leistungen berechneten Apparate auch in den Figuren nach einerlei Massstab dargestellt, um einen bequemen Vergleich der bezüglichen Dimensionen zu gestatten.

Als Längen- und Gewichtseinheit sind Meter und Kilogramm angenommen.

Inhalt.

Einleitung.

Die fortwährende Veränderung, welche die Luft in den Grubenräumen durch den Athmungsprocess der Menschen, das Brennen der Lichter, die Zersetzung organischer Stoffe, durch die beim Sprengen entwickelten Dämpfe, endlich durch die Abscheidung von Gasen aus dem Gesteine erleidet, macht die Sorge für einen ausreichenden Wetterwechsel zu einer wichtigen Aufgabe des Bergmannes. Die verdorbene Luft soll beständig fortgeleitet und durch nachströmende reine ersetzt werden. Diese Circulation tritt selbstthätig ein, wenn die Stollens- oder Schachtöffnungen, durch welche die unterirdischen Räume mit der Atmosphäre in Verbindung stehen, sich in verschiedenen Horizonten befinden, indem zur Winterszeit die warme Grubenluft wie durch einen Schornstein zu den höher gelegenen Oeffnungen emporsteigt und austritt, durch die tieferen kalte äussere Luft einströmt, während im Sommer die umgekehrte Bewegung stattfindet; ein solcher Wetterwechsel heisst ein natürlicher. Derselbe wird ungenügend, wenn der Höhenunterschied zwischen den Schacht- oder Stollens-Mundlöchern zu gering ist, oder wenn, wie im Frühling und Herbste, die Temperaturen der äusseren und der Grubenluft zu wenig verschieden sind. Es muss dann ein künstlicher Wetterwechsel geschaffen, d. h. die Luftströmung durch besondere zu diesem Zweck getroffene Einrichtungen hervorgerufen oder wenigstens verstärkt werden.

Hiezu dienen Feuerungen (Wetterherde, Wetteröfen), die durch Erwärmung einer Luftsäule den Zug bewirken, oder Wettermaschinen, welche die Luft durch mechanische Mittel in Bewegung setzen.

Die Wettermaschinen, welche den Gegenstand dieser Schrift bilden, lassen sich auf zwei verschiedene Arten verwenden: saugend oder blasend. Es sei Fig. 1 $B\,S$ die zu ventilirende Strecke, welche in beliebigen Krümmungen geführt sein kann; die Luftströmung soll von B gegen S erfolgen. Stellt man die Wettermaschine bei S auf, so muss sie die Luft aus der Strecke $B\,S$ auspumpen und ins Freie ausblasen; bei B strömt dann frische Luft nach, und die Maschine wirkt saugend. Wenn dagegen eine bei B aufgestellte Maschine atmosphärische Luft ansaugt und in die Strecke treibt, so wirkt sie blasend; die Bewegung der Luft erfolgt wie früher.

Die Spannung der bewegten Luft und die derselben entsprechende Manometerhöhe nimmt in beiden Fällen von B gegen S allmälig ab. Diese Abnahme hat ihren Grund in der Reibung der Luft an den Streckenwänden, dann in den Verlusten durch plötzliche Querschnittsänderungen und Krümmungen. Steht bei B eine blasende Maschine, so besitzt die bei S ausströmende Luft atmosphärische Spannung, welcher die Manometerhöhe Null entspricht; bei B ist aus den obigen Ursachen eine Höhe h' nothwendig. Die Maschine hat also die Spannungshöhe der von Aussen angesaugten Luft von 0 auf h', d. h. um h' zu steigern. Arbeitet hingegen bei S eine saugende Maschine, so ist die Manometerhöhe bei B Null, bei S, innerhalb der Strecke, um eine Höhe h'' kleiner, daher gleich $-h''$; diese letztere muss auf Null, d. h. um h'' vergrössert werden. Die reine Leistung der Wettermaschine besteht also allgemein darin, die Manometerhöhe um einen Betrag h zu steigern und die Luft fortzuschieben. Die Grösse dieser reinen Leistung ist unabhängig von der Construction der Maschine und kann unter Voraussetzung einer beliebigen Einrichtung derselben berechnet werden. Der Ventilationsapparat bestehe aus einem unten offenen Cylinder Fig. 10, in welchem der Kolben k durch die Stange t auf- und niederbewegt wird. Am Deckel des Cylinders seien zwei Ventile $v\,v_1$ angebracht. Beim Niedergang des Kolbens tritt Luft aus S durch v in den Cylinder, während v_1 geschlossen ist; beim Aufgang ist v geschlossen und die Luft strömt durch v_1 nach D. Wirkt die Maschine blasend, so ist die Manometerhöhe der Luft in S Null, in D gleich h. Beim Niedergang ist die Spannung beiderseits vom Kolben die atmosphärische, und es sind blos die Nebenhindernisse zu überwinden. Beim Aufgang wird zuerst die Manometerhöhe der Luft ober dem Kolben von 0 auf h erhöht, hierauf öffnet sich das Ventil v_1, und die obige Höhe bleibt bis zu Ende des Kolbenlaufes constant $= h$. Da bei der Ventilation der Gruben nur kleine Spannungsunterschiede vor-

kommen, daher die Steigerung um h auf einem kleinen Theile des Hubes erfolgt, darf man annähernd voraussetzen, die Manometerhöhe der Luft ober dem Kolben sei auf dessen ganzem Laufe s gleich h. Ein am Cylinder befestigtes Manometer M würde den Stand h zeigen; die Spannung der Luft hält der Flüssigkeitssäule von der Höhe h das Gleichgewicht und wirkt daher auf den Kolben wie das Gewicht einer ebenso hohen denselben bedeckenden Flüssigkeitsschicht, welche über eine Höhe s = der Länge des Kolbenlaufes zu heben ist. Bezeichnet man die Kolbenfläche mit O, das specifische Gewicht der manometrischen Flüssigkeit mit γ, so wird die zum Aufgang des Kolbens nothwendige Arbeitsgrösse

$$E = O h \gamma s = m h \gamma,$$

wenn das Volum eines Kolbenschubes

$$O s = m$$

gesetzt wird. Versteht man hingegen unter m das pr. Sekunde fortgeschaffte Luftvolum, so ist E die reine Arbeitsgrösse pr. Sekunde, d. h. der reine Effect der Wettermaschine.

Wirkt die letztere saugend, so ist die Manometerhöhe im Blaserohr D Null, in dem Saugrohre S eine negative $= -h$; beim Aufgang ist der Druck ober und unter dem Kolben gleich, beim Niedergang die Manometerhöhe ober dem Kolben um h kleiner als unter demselben, wonach sich für den Effect der gleiche Ausdruck wie oben ergibt.

Ist endlich ε der Wirkungsgrad der Wettermaschine, so ist der zum Betrieb derselben erforderliche Effect

$$\mathfrak{E} = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{m h \gamma}{\varepsilon}.$$

Die Luft, welche die Grubenräume durchströmt hat, tritt mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Atmosphäre. Ist bei B Fig. 1 eine blasende Maschine aufgestellt, so erfolgt der Austritt der Luft durch die Stollens- oder Schachtmündung S direkt; steht hingegen bei S eine saugende Maschine, so treibt diese die Luft ins Freie. Es ist mithin eine entsprechende Arbeitsgrösse als lebendige Kraft in der ausströmenden Luft enthalten, und aus diesem Grunde ein höherer Werth von h sowie ein Mehraufwand an Betriebskraft nothwendig, welcher nur dann verschwindet, wenn der Austrittsquerschnitt der Luft unendlich gross, ihre Geschwindigkeit unendlich klein ist; er lässt sich daher nicht ganz vermeiden, und sollte dem oben berechneten reinen Effect E zugeschlagen werden. Dies wurde jedoch unterlassen, weil der genannte Mehraufwand bei blasenden Maschinen sehr

gering ist, und bei saugenden durch Erweiterung des Austrittskanales für die Luft beliebig herabgesetzt werden kann.

Die bei saugenden Maschinen sich ergebende negative Manometerhöhe heisst auch Depressionshöhe zum Unterschiede von der durch die blasenden hervorgebrachten positiven Pressungshöhe.

Der zur Ventilation nothwendige reine Effect $E = m\,h\,\gamma$ ist bei blasenden Maschinen etwas kleiner als bei saugenden. Der Zuwachs an Manometerhöhe von S gegen B Fig. 1, welchen die Reibung allein fordert und der einen Theil von h bildet, ist nämlich bei einer gegebenen Strecke $B\,S$ dem Quadrat der Luftgeschwindigkeit proportional. Wirkt nun die Maschine blasend, so ist die Spannung der Grubenluft grösser, daher bei gleichem durchströmenden Luftgewicht pr. Sekunde dessen Volum kleiner, mithin auch die Geschwindigkeit und der entsprechende Antheil von h geringer. Da indessen die gewöhnlich vorkommenden Spannungen der Grubenluft von der atmosphärischen nur wenig verschieden sind, ist auch der obige Unterschied der Luftgeschwindigkeiten gering und wird in der Regel keinen Beweggrund abgeben, die blasenden Maschinen den saugenden vorzuziehen.

Vielmehr lässt die folgende praktische Rücksicht meistens die saugende Wirkung als die vortheilhaftere erscheinen. Wenn bei B Fig. 1 eine blasende Maschine aufgestellt ist, so wird bei S aus- und eingefahren, gefördert u. s. w. Das dort beschäftigte Personal muss also die verdorbene Luft einathmen, welche die Grube durchströmt hat. Wird hingegen bei S eine saugende Maschine angebracht, so findet der Verkehr des Personals auf der Strecke B, mithin in der einströmenden frischen Luft statt; daher diese Anordnung in der Mehrzahl der Fälle vorgezogen wird. Als Vortheil der blasenden Wettermaschinen wird es noch angesehen, dass dieselben der Luft eine höhere Spannung ertheilen, welche das Austreten von Gasen aus den Gesteinsklüften erschwert; wogegen sich freilich einwenden lässt, dass auf diese Weise zurückgehaltene schlagende Wetter um so lebhafter ausströmen und sich rascher in den Strecken ansammeln werden, wenn der Betrieb der Maschine aus irgend einer Ursache unterbrochen ist.

Als allgemeine Anforderungen, welchen durch die Construction der Wettermaschine Genüge geleistet werden soll, sind neben Erzielung einer hinreichenden Luftcirculation geringe Anlags- und Betriebskosten, vorzüglich aber Dauerhaftigkeit zu bezeichnen, damit wenig Reparaturen vorkommen und der Betrieb möglichst ungestört von Statten gehe. Diese Aufgabe wird durch Solidität und

Einfachheit in der Ausführung, durch Verminderung der Anzahl der bewegten Theile erreicht. Die Betriebskosten der mit Dampf betriebenen Wettermaschinen werden durch einen hohen Wirkungsgrad derselben herabgesetzt; bei Kohlenbergbauen indessen, wo gerade die künstliche Ventilation die meiste Verbreitung findet, ist ein hoher Wirkungsgrad von minderer Wichtigkeit, da der Brennstoff wenig kostet.

Bei der nun folgenden Behandlung der zur Ventilation der Gruben dienenden Maschinen ist dieselbe Eintheilung beobachtet, wie bei den Gebläsen in den „Hüttenwesens-Maschinen"*), und es muss auch bezüglich der allgemeinen Gebläsetheorie sowie der speciellen Behandlung einzelner Arten, besonders der ohnedies selten als Wettermaschinen verwendeten Kolbengebläse, auf das genannte Werk verwiesen werden.

Streng genommen wären unter die Wettermaschinen auch jene Apparate aufzunehmen, welche die Luft zum Betriebe unterirdischer Förderungs-, Wasserhaltungs- oder Gesteinsbohrmaschinen verdichten, da diese Luft zugleich zur Ventilation benützt wird. Die Ventilation ist indessen als Nebenzweck, dagegen die Herstellung einer Transmission auf grössere Entfernung als Hauptaufgabe dieser Einrichtungen zu betrachten, deren Behandlung mithin einem anderen Theile der Bergmaschinenlehre angehört.

1) Kolbenmaschinen.

Unter diesem Namen begreift man jene Wettermaschinen, welche, ganz ähnlich den für hüttenmännische Zwecke dienenden Kasten- und Cylindergebläsen construirt, aus einem Behälter *a* Fig. 4 von kreisrundem oder rechteckigem Querschnitt bestehen, worin der Kolben *k* hin- und herbewegt wird. An den Wänden *n*, welche die Enden des Behälters *a* abschliessen, befinden sich Druck- und Saugventile *d s*, von welchen *d* mit der freien Luft, *s* durch Kanäle *c* mit der zu ventilirenden Strecke communiciren. Bei der angegebenen Bewegung des Kolbens wird stets durch eines der Ventile *s* Grubenluft angesaugt, durch das am anderen Ende des Behälters *a* befindliche Ventil *d* in's Freie ausgeblasen, und die Maschine wirkt saugend; sie wird zu einer blasenden, wenn man die Ventile *s* mit *d* ihre

*) Die Hüttenwesens-Maschinen. Von Julius Ritter v. Hauer. Wien 1867.

Plätze wechseln lässt. Bleibt eine der Wände n nebst dem zugehörigen Kanal c weg, so ist der Apparat einfach- statt wie früher doppeltwirkend, da der Kolben blos abwechselnd Luft ansaugt und ausbläst.

Bezeichnet O die Fläche und v die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens, $\mathfrak{m}$ den Raum, welchen der Kolben in der Sekunde zurücklegt, so ist

$$\mathfrak{m} = O v;$$

und da bei doppelt wirkenden, saugenden Maschinen eben dieses Volum $\mathfrak{m}$ aus der Strecke in den Behälter a nachströmt, bei blasenden aus letzterem in die Strecke verdrängt wird, ist $\mathfrak{m}$ zugleich die von der Maschine fortbewegte, sogenannte theoretische Luftmenge pr. Sekunde. Wegen Undichtheiten der Maschine und wegen des schädlichen, d. h. des zu Ende des Hubes zwischen dem Kolben und Cylinderdeckel verbleibenden Raumes, dessen Einfluss unten nachgewiesen wird, ist jedoch die wirkliche Menge m stets kleiner als $\mathfrak{m}$, und setzt man das Verhältniss beider, welches den Namen Windeffect führt,

$$\frac{m}{\mathfrak{m}} = \varphi,$$

so wird

$$m = \varphi\, \mathfrak{m} = \varphi\, O\, v.$$

Ist die pr. Sekunde zu bewegende Luftmenge m gegeben, so folgt die Kolbenfläche

$$O = \frac{m}{\varphi\, v}$$

und bei cylindrischer Form des Behälters, wenn D dessen Durchmesser bedeutet,

$$\frac{D^2 \pi}{4} = O, \quad D = \sqrt{\frac{4\, O}{\pi}}.$$

Bei Anwendung hölzerner Cylinder oder Kästen von 2 bis 4^m Durchmesser, beziehungsweise Seitenlänge des Querschnittes, und wenn der Kolbenhub, wie bei den gewöhnlichen Ausführungen dieser Maschinen, $^1/_2$ bis $^3/_4$ des Durchmessers oder der Kastenquerschnitts-Seite beträgt, kann $\varphi = 0{\cdot}85$ bis $0{\cdot}9$, bei eisernen Cylindern, wo die Kolbenliederung dichter schliesst, $\varphi = 0{\cdot}9$ gesetzt werden. Die Kolbengeschwindigkeit v ist etwa gleich 1^m anzunehmen. Bezeichnet s den Hub, n die Zahl doppelter Hube (die halbe Zahl der Cylinder- oder Kastenfüllungen) pr. Minute, so ist

$$2\, n\, s = 60\, v, \quad n = 30\, \frac{v}{s}.$$

Bei einfachwirkenden Maschinen ist die durchschnittliche pr. Sekunde fortbewegte Luftmenge, da der Kolben abwechselnd saugt und ausbläst,

$$m = \frac{\varphi O v}{2}, \quad O = \frac{2m}{\varphi v},$$

d. h. die Kolbenfläche wird bei gleicher Luftmenge und Kolbengeschwindigkeit doppelt so gross. Die Zahl n Doppelhube, hier gleich der Zahl Cylinder- oder Kastenfüllungen pr. Minute, ist wie früher

$$n = 30 \frac{v}{s}.$$

Sei z. B. die pr. Sekunde zu bewegende Luftmenge $m = 4{\cdot}375$ Cubik-Meter, so wird für einen einfachwirkenden Cylinder bei $v = 1^m$ Kolbengeschwindigkeit und für $\varphi = 0{\cdot}88$

$$O = 2 \frac{4{\cdot}375}{0{\cdot}88} = 9{\cdot}94$$

$$D = \sqrt{\frac{4 O}{\pi}} = 3{\cdot}56^m;$$

bei Anwendung zweier Cylinder ergiebt sich

$$D = \sqrt{\frac{2 O}{\pi}} = 2{\cdot}5^m.$$

Nimmt man im ersten Falle $s = 2{\cdot}5^m$, im zweiten $s = 2^m$, so wird die Zahl n doppelter Kolbenläufe pro Minute beziehungsweise

$$n = 12 \text{ oder } n = 15.$$

Die nothwendige Betriebskraft $\mathfrak{E}$ kann nach der in der Einleitung entwickelten Formel ermittelt werden, wenn die zu erzielende Steigerung h der Manometerhöhe gegeben ist und der Wirkungsgrad ε entsprechend angenommen wird.

Je geringer die Steigerung h, welche durch die Kolbenmaschine hervorgebracht wird, desto grösser ist der Windeffect und desto kleiner der Wirkungsgrad derselben. Bewegt sich Fig. 4 der Kolben in der Richtung des Pfeiles, so ist die Spannung der Luft im Raume A grösser als die äussere atmosphärische; denn um das Ventil d geöffnet zu erhalten, ist ein Ueberdruck von Innen nothwendig, der zugleich der Luft ihre Ausflussgeschwindigkeit ertheilt. Zu Ende des Kolbenlaufes ist also der schädliche Raum mit dieser höher gespannten Luft gefüllt. Beim Rücklauf des Kolbens hingegen ist aus ähnlicher Ursache die Spannung in A kleiner als in den Saugröhren c; während des ersten Theiles des Rücklaufes wird also nicht gesaugt, sondern nur die Spannung der Luft des schädlichen Raumes vermindert; erst bis die Spannung in A unter die in c vorhandene gesunken ist, öffnet sich das Ventil s und beginnt das Saugen. Somit ist die angesaugte, d. h. der zu ventilirenden Strecke wirklich entnommene Menge kleiner als die theoretische, nähert sich aber der letz-

teren um so mehr, je kleiner der Unterschied der äusseren und der Spannung in c ist. Das Gleiche ergibt sich für den Raum B auf der anderen Seite des Kolbens und Analoges für blasende Kolbenmaschinen. Da nun die Wettermaschinen bedeutend kleinere Spannungsdifferenzen erzeugen, als die beim Hüttenwesen verwendeten Cylindergebläse, so erreichen sie auch einen grösseren Windeffect als letztere. So wurden bei Spannungsdifferenzen der angesaugten und ausgeblasenen Luft von 4 bis 8 Centimetern Wasser, Windeffecte von 0·8 bis 0·9 und darüber beobachtet, während diese Ziffer bei Hüttengebläsen mit hoher Pressung (besonders Bessemergebläsen) bis 0·6 und tiefer sinkt. Bei grösserem Werthe von φ genügt, wie die obigen Ausdrücke für O zeigen, eine kleinere Kolbenfläche, wodurch auch die sonstigen Dimensionen der Maschine vermindert werden. Hierin liegt der Nutzen eines höheren Windeffectes.

Dagegen sinkt mit dem erzeugten Spannungsunterschied der Wirkungsgrad, was in Folgendem begründet ist. Wenn der Kolben der saugenden Maschine Fig. 4 sich nach der Richtung des Pfeiles bewegt, ist, wie schon bemerkt, die Spannung in A grösser als die atmosphärische, in B kleiner als im Saugrohr c. Bezeichnet man die Manometerhöhen, welche diesen Spannungsdifferenzen entsprechen, beziehungsweise mit h_1 und h_2, die Manometerhöhe der Luft in c mit $-h$, so ist die Spannungshöhe in A gleich h_1, in B

$$-h-h_2=-(h+h_2).$$

Die Differenz beider

$$h_1-[-(h+h_2)]=h+(h_1+h_2)$$

entspricht dem Spannungsunterschiede, welcher der Kolbenbewegung entgegenwirkt; ohne den Widerstand durch die Ventile wären h_1 und h_2 gleich Null, also die obige Differenz blos h. Die zur Spannungsänderung der Luft nothwendige Arbeit ist aber dieser Differenz proportional, und wird daher wegen der Verluste durch die Ventile auf das $n$fache vergrössert, wobei

$$n=\frac{h+(h_1+h_2)}{h}=1+\frac{h_1+h_2}{h}$$

ist. Da die Höhen h_1 und h_2 sich mit h wenig ändern, so wird n um so grösser, je kleiner h ist, daher der Wirkungsgrad der Kolbenmaschinen mit der erzeugten Spannungsdifferenz abnimmt. Ganz der gleiche Schluss ergiebt sich für blasende Kolbenmaschinen.

Die Höhen h_1 und h_2 werden klein, wenn die Summe der Ventilquerschnitte möglichst gross, daher die Geschwindigkeit der durchströmenden Luft gering ist, weil dann auch ein kleinerer Ueberdruck genügt, um diese Geschwindigkeit hervorzubringen; wenn die

Ventile durch einen schwachen Druck offen erhalten werden können, also geringes Gewicht besitzen und in verticaler Stellung angebracht sind, oder bei horizontaler Lage, wie sie bei stehenden Cylindern und Kästen vorkommt, Ausgleichungsgewichte erhalten. Doch ist bei der sorgfältigsten Einrichtung die Summe $h_1 + h_2$ noch immer verhältnissmässig gross, da einerseits das Gewicht der Ventile, welche sich sonst zu langsam schliessen, nicht vollständig ausgeglichen werden kann, anderseits wegen der Verluste durch plötzliche Geschwindigkeits- und Richtungsänderung in den Ventilöffnungen stets ein Ueberdruck nothwendig ist. Der Wirkungsgrad neu zu berechnender Kolbenmaschinen kann daher für eine Spannungsdifferenz von $h = 4$ bis 7 Centimeter Wasser und ungefähr 1 Meter Kolbengeschwindigkeit nicht höher als zu 0·4 angenommen werden. Bei Anwendung von horizontalen Ventilen, in der gewöhnlichen Art aus einer zwischen zwei Blechtafeln eingeschlossenen Lederplatte bestehend, jedoch ohne Gegengewichte, sinkt der Wirkungsgrad bis auf 0·2 — 0·3.

Dieser Nachtheil kommt allerdings bei Kohlenbergbauen, wo der Brennstoff geringen Werth besitzt, weniger in Betracht. Der Vorwurf, dass die Kolbenmaschinen, durch Unachtsamkeit des Wärters zum Stillstand gekommen, den Wetterzug gänzlich unterbrechen, während derselbe bei anderen Apparaten, welche die Saugstrecke nicht absperren, z. B. Centrifugalventilatoren, noch fortdauern kann, ist nicht wesentlich; denn die Fortdauer des Zuges lässt sich auch erreichen, wenn man am Saugkanal eine nach Aussen sich öffnende Thür mit Gegengewicht anbringt, welche, sobald die Maschine ausser Gang kommt, durch den Stoss der bewegten Grubenluft geöffnet wird. Allein auch abgesehen vom Brennstoff, sind die sonstigen Betriebs- und besonders die Anlagskosten gross, so dass die früher ziemlich verbreiteten Kolbenmaschinen jetzt wenig im Gebrauche und höchstens dann zu empfehlen sind, wenn starke Depressionen erfordert werden, die man durch andere Apparate nicht mit Vortheil erzielen kann.

Zur Ventilation einzelner, schwach belegter Feldörter wurden besonders früher die sogenannten Wetterladen verwendet. Die Wetterlade ist ein viereckiger, hölzerner, oben offener Kasten, in welchem ein Kolben durch Menschenkraft hin- und herbewegt wird. Die Luft strömt beim Aufgang des Kolbens durch ein am Boden des Kastens befindliches Saugventil aus der Wetterlutte ein, beim Niedergang durch das im Kolben befindliche Ventil ins Freie. Der Apparat ist also dem Princip nach mit einem einfachwirkenden

Kastengebläse übereinstimmend. Zweckmässiger ist die Einrichtung der in Fig. 3 dargestellten Wetterlade, bei welcher die Kolbenliederung wegfällt. Darin ist *a* der quadratische hölzerne Kasten mit 25 Cent. Weite; *b* die Wetterlutte, eine Blechröhre, welche die Luft von dem zu ventilirenden Feldorte zuführt; *s* das Saugventil; *k* der Kolben, von ähnlicher Form wie der Kasten und am Boden mit dem Druckventil *d* versehen, durch welches beim Niedergang die Luft abströmt; *l* die Liederung, bestehend aus Lederstreifen, welche am Rand des Kastens *a* festgenagelt sind, sich an den Kolben anlegen und daher den Kasten *a* nach oben abschliessen. Die Auf- und Niederbewegung des Kolbens erfolgt durch die Zugstange *Z*, entweder direct oder mittelst eines Hebels; im ersteren Falle wird der Apparat etwas geneigt aufgestellt, um die Arbeit zu erleichtern. Die Liederung *l* ist stets sichtbar und leicht zu repariren, daher der eines gewöhnlichen Kolbens vorzuziehen.

Zur Ventilation ganzer Grubenbaue müssen Apparate von grösseren Leistungen und Dimensionen angewendet werden. An einigen Orten Belgiens standen Kolbenmaschinen im Gebrauch, deren Einrichtung Fig. 11 darstellt.*) Sie bestehen aus zwei oben offenen, hölzernen quadratischen Kästen *k* mit $2{\cdot}4^{m}$ Seitenlänge und $1{\cdot}6^{m}$ Hub; in den Kolben *n* sowie im Boden der Kästen sind Oeffnungen mit Ventilklappen angebracht, deren Gewicht durch in der Zeichnung weggelassene Gegengewichte ausgeglichen ist. Beim Aufgang jedes Kolbens strömt Luft aus einem Kanale *s*, der mit der Saugstrecke in Verbindung steht, in den Kasten, beim Niedergang tritt die angesaugte Luft durch die Kolbenventile ins Freie. Die Kolben sind durch Ketten an dem hölzernen Balancier *b* aufgehängt, an dessen Enden Krümmlinge angebracht sind, welche die Ketten in verticaler Richtung erhalten; die Eisenstangen *t* und die Strebe *u* übertragen die Belastung der Enden des Balancier auf dessen Mitte. Zum Betrieb dient eine Dampfmaschine, welche mittelst Kurbel und Schubstange einen an der Balancier-Axe befestigten Hebel bewegt. Der Niedergang der Kolben erfolgt durch deren Eigengewicht.

Vollkommener, dagegen auch kostspieliger, ist die Einrichtung der auf der Espérance-Grube bei Seraing in Betrieb gewesenen Maschine**), welche Fig. 2 nach den im obigen Beispiele für eine

---

*) Ponson, Handbuch des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann. Weimar, 1856. S. 330.

**) Ponson's „Steinkohlenbergbau", deutsch von Hartmann, S. 330.

Windmenge von 4·375 Cubik-Meter pr. Sekunde berechneten Dimensionen darstellt. Sie besteht aus zwei einfachwirkenden Cylindern *c*, welche nach Art eines Fasses aus hölzernen Dauben zusammengesetzt und mit aufgezogenen Eisenreifen versehen sind. Die gusseisernen Kolben, sowie die Böden der oben offenen Cylinder enthalten die Ventile. Die Kolbenstangen sind durch Parallelogramme mit dem gusseisernen Balancier *b* verbunden, welcher von der vertical über dem einen Gebläsecylinder stehenden Dampfmaschine *d* bewegt wird. Die Bewegung des Dampfschiebers erfolgt durch eine am Balancier befestigte Steuerungsstange. Da keine Kurbel vorhanden ist, welche den Hub begrenzt, so muss die Steuerung so gestellt werden, dass der Hubwechsel eintritt, bevor die Kolben den Cylinderenden zu nahe gekommen sind, um die Gefahr eines Bruches zu vermeiden. Dadurch wird der schädliche Raum grösser. Bei einer anderen Construction werden die Kolben mittelst eines liegenden Dampfcylinders in ähnlicher Art wie bei der unten zu beschreibenden Glockenmaschine bewegt.

Die später nach Mahaux' System erbauten Kolbenmaschinen zeigen liegende Anordnung, d. h. die Axe des Kastens ist horizontal, wobei die Klappen eine verticale Stellung erhalten und die Gegengewichte entbehrlich werden. Auf den Steinkohlenwerken bei Charleroi wurden solche Maschinen aufgestellt *), deren Einrichtung Fig. 9 im Verticalschnitte zeigt. Sie bestehen aus zwei liegenden quadratischen Kästen *c*, worin die Kolben *k* sich bewegen, welche durch eine gemeinschaftliche eiserne Kolbenstange mit dem Kolben der Dampfmaschine *d* in Verbindung stehen. Die Kästen sind aus Pfosten zusammengesetzt und durch hölzerne Schliessen *n* verstärkt. Die Luft strömt durch die Saugventile *v* aus zwei mit der Strecke verbundenen Kanälen in die Kästen, durch die Kolbenventile v_1 ins Freie. Die Kolbenliederung besteht aus Bandseilen, die durch Federn gegen die Kastenwände gedrückt werden. Um die Abnützung der Liederung und die Reibung an der Unterseite des Kolbens zu vermindern, sind an zwei Stellen Schienen *u* an den Kolben befestigt, welche auf gusseisernen Schlitten gleiten. Der Dampfschieber wird von einer an der Kolbenstange befestigten schwächeren Stange mittelst Knaggen gesteuert. Das Ganze ist auf Mauerwerk fundirt. Der Windeffect dieser Maschine wurde von Jochams bei einer mittleren Depression von 7·5 Centimeter Wasser zu 0·93, der

*) Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, Brüssel & Leipzig 1861, S. 293.

Wirkungsgrad zu 0·65 bestimmt. Die letztere Ziffer ist bedeutend höher als die unter sonst gleichen Verhältnissen für stehende Kolbenmaschinen, selbst bei ausgeglichenen Ventilgewichten, sich ergebende; sie ist jedoch nicht ganz verlässlich, weil das Verhältniss der Nutzleistung der Dampfmaschine zu der aus dem Dampf-Ueberdruck sich ergebenden Wirkung blos geschätzt wurde, und zwar zu 0·7.

Eine Maschine von kolossalen Dimensionen von Nixon ist auf der Grube Navigation Colliery bei Aberdare aufgestellt.*) Fig. 5 und 6 zeigen dieselbe im Verticalschnitt und im Grundriss. Sie besteht aus zwei doppeltwirkenden hölzernen Kästen *k*, deren Kolben von der liegenden Dampfmaschine *d* bewegt werden; *p* sind zwei Schwungräder. Die Kolben haben 30′ Breite, 22′ Höhe und 7′ Hub, und laufen mit je 4 Rollen *r* auf Schienen. An der oberen Hälfte der Stirnwände beider Kästen befinden sich die Druck-, an der unteren die Saugventile, durch welche die Luft aus den Kanälen *c* in die Kästen eintritt. Die Ventile sind in grösserer Anzahl, dafür mit kleinem Querschnitte ausgeführt, und besitzen, da sie aus Holz mit einem Ledercharnier bestehen, ein geringes Gewicht. Durch diese Einrichtungen wird ein rascheres Schliessen der Ventile bezweckt und das Durchströmen der Luft erleichtert. Wegen der grossen Dimensionen können sich die Kolben nicht bis nahe zu den Stirnwänden der Kästen bewegen, und bleibt daher ein bedeutender schädlicher Raum, welcher den Windeffect herabsetzt; der letztere wurde gleich 0·5 gefunden.**)

2) Rotirende Kolbenmaschinen.

Der Kolben, d. h. der unmittelbar auf die Luft wirkende Bestandtheil der Ventilationsmaschine kann statt der hin- und hergehenden auch eine drehende Bewegung erhalten. Derart sind die Ventilatoren von Fabry, Lemielle u. A. ausgeführt, welche Apparate daher rotirende Kolbenmaschinen genannt werden sollen. Sie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Kolbenmaschinen

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1865, 13. Bd. S. 182.

**) Diese Maschine ist auch im Bulletin de la soc. de l'industrie minérale, 1864, 9. Bd., S. 368, zum Theile wesentlich anders beschrieben; da die beigegebene Skizze mit der Beschreibung nicht stimmt, wurde hier nur die früher citirte Quelle benützt.



auch durch das Wegfallen der Ventile, von den Centrifugalventilatoren dadurch, dass sie der Luft keine radiale Bewegung ertheilen. Durch Umkehrung der Drehung werden sie aus saugenden in blasende Maschinen verwandelt, welcher Umstand jedoch nur in einzelnen Fällen von Nutzen ist.

Da die Umdrehungszahl der rotirenden Kolbenmaschinen gering ist, erfolgt deren Betrieb unter Umständen durch Dampfmaschinen ohne Transmission.

Eine Art rotirender Kolbenmaschinen sind auch die Blasbälge, welche sich von den übrigen dadurch unterscheiden, dass die Drehung des Kolbens keine continuirliche, sondern eine hin- und hergehende ist. Auch besitzen dieselben Ventile. Früher hat man für geringere Leistungen öfters von Hand betriebene Bälge zur Grubenventilation benützt, gegenwärtig finden sie wegen ihres kleinen Wirkungsgrades nur wenig Anwendung.

Ventilatoren von Fabry, Roots, Evrard und Cooke.

Man denke sich zwei in einander greifende Zahnräder r r_1 Fig. 7 zum Theil in einen feststehenden Behälter b eingepasst, dessen Grundriss Fig. 8 darstellt, und der aus zwei verticalen Wänden mit einem gekrümmten Boden besteht, in welchen das Rohr s mündet. Der Anschluss der Kopf- und Stirnflächen der Zähne an den Wänden des Behälters b sei ein luftdichter. Bewegen sich die Räder in der Richtung der Pfeile, so schliesst jeder Zahn z, sobald er mit der Bodenfläche von b in Berührung kommt, das in der vorausgehenden Lücke l befindliche Luftquantum ab und führt dasselbe nach Aussen. Dem Raume A wird daher fortwährend Luft entnommen; hingegen schliesst jeder Zahn z_1, sowie er mit dem nebenliegenden z_2 des anderen Rades in Eingriff kommt, ein Volum v ab und führt dasselbe nach A zurück. Jeder Zahn der beiden Räder entnimmt mithin dem Raume A ein Luftvolum $l—v$, es findet durch das Rohr s beständiges Nachströmen von Luft statt, und setzt man dieses Rohr mit der zu ventilirenden Strecke in Verbindung, so wirkt der Apparat als saugende Wettermaschine. Die bei jeder Umdrehung fortgeführte Luftmenge wird um so grösser, je grösser die radiale Länge der Zähne ist; um so geringer wird zugleich die Zahl der Zähne, bei welcher der Eingriff möglich bleibt. Dagegen ist die Luftmenge pr. Umdrehung unabhängig von der Form der Zahnflanken; denn nimmt man an einer beliebigen nicht zum Eingriffe kommenden Stelle der letzteren einen Theil der Zahnmasse

weg, so wird dadurch das Volum *l* der Lücke, um eben so viel aber auch das zurückgeführte Volum *v* vergrössert.

Professor Reuleaux nennt die Luftbewegungsmaschinen, welchen dieses Princip zu Grunde liegt, Kapselräder. Von denselben sollen nun die bei Ventilation der Gruben verwendeten oder dazu bestimmten betrachtet werden.

Die verbreitetste davon ist der Fabry'sche Ventilator. Jedes Rad desselben besitzt nur drei Zähne, damit deren Länge gross werden kann; die Zahnflanken sind blos so weit ausgeführt, als sie mit einander in Eingriff kommen, und mit radialen Wänden verbunden, welche den eigentlichen Zahnkörper bilden; endlich sind, da bei so geringer Zahnzahl der Betrieb eines Rades durch das andere sehr ungünstig wäre, an den beiden Wellen zwei gewöhnliche ineinandergreifende Stirnräder mit gleichen Theilkreisdurchmessern befestigt, deren eines von der Kraftmaschine bewegt wird.

Fig. 12 und 18 stellen einen durch eine Dampfmaschine betriebenen Fabry'schen Ventilator im Verticalschnitt und im Grundriss dar. Auf den Wellen $w\,w_1$ sind je zwei gusseiserne Armsterne aufgekeilt, aus einer Nabe und drei kreuzförmigen Armen *w a* bestehend; an den Enden der Querstücke *d n* befinden sich gekrümmte Ansätze. Sämmtliche Armtheile *w a* und *d n* sind mit Rippen versehen, und auf diesen Bretter- oder Blechwände festgeschraubt, deren Ebenen parallel zur Drehungsaxe *w* liegen. Desgleichen befinden sich an den Endstücken *b d* solche Wände in Form von Cylindern, deren Grundlinien Epicycloiden sind, und deren Erzeugende ebenfalls parallel zur Axe *w* liegen. Das Ganze bewegt sich in einem unten aus Mauerwerk, oben aus gusseisernen Rahmen mit Bretterverschalung bestehenden Gehäuse. Es ist indessen zweckmässiger, das letztere ganz aus Mauerwerk herzustellen. Die an den Radarmen befestigten Wände müssen sich möglichst dicht schliessend, doch ohne wirkliche Berührung, an den verticalen Innenflächen und dem Boden des Gehäuses bewegen. Das Mauerwerk wird daher mit einer Cementschicht überzogen und diese durch Chablonen geglättet, wobei die bereits eingehängten Räder benützt werden können. Die Saugstrecke mündet in einen oben offenen Kanal *s* am Boden des Gehäuses. Ausserhalb des letzteren sind an den Wellen $w\,w_1$ Fig. 18 zwei gleich grosse ineinandergreifende Stirnräder $z\,z_1$ befestigt, deren eines z_1 von der liegenden Dampfmaschine *M* bewegt wird.

Die beiden Ventilatorräder wirken in der oben angegebenen Art wie Zahnräder, von deren Zahnflanken nur die Theile *b d* die für den Eingriff nothwendige Form besitzen. Jeder Zahn bewegt bei jeder

Umdrehung ein Luftvolum *a w g* Fig. 12 aus dem Gehäuse fort und ein kleineres *c d e f w* zurück, so dass aus der Strecke fortwährend gesaugt wird.

Eine andere Ausführung des Fabry'schen Ventilators ist zum Theile in Fig. 13*) dargestellt. An die Armsterne sind vorspringende Leisten angegossen, welche zur Befestigung der Holzwände dienen; letztere sind bei jedem Arme längs der Linien *a b* und *e d b c f g* ausgeführt. Die Zurückbiegung der Armenden *f g* scheint deshalb angeordnet, damit letztere im Falle des Anstreifens federn und sich nicht klemmen. Die gegen Fig. 12 modificirte Form der Querarme *d b c* hat aus früher angeführtem Grunde keinen Einfluss auf die angesaugte Luftmenge, denn die Aenderung erstreckt sich nur auf die Form der Zahnflanken.

Eine geänderte Bewegungsart für die Ventilatorräder zeigt Fig. 17. Dabei sind an den Enden jeder Welle $w\, w_1$ zwei um 90° verstellte Kurbeln angebracht; zu beiden Seiten des Ventilators stehen Dampfcylinder *c*, welche mittelst der Traversen *t* und Schubstangen die Räder in der Richtung der Pfeile drehen. Doch ist diese Anordnung eine complicirtere.

Fig. 15 zeigt, auf welche Art der Eingriff zweier zusammenwirkender Zahnflächen *a b* und *c d* stattfindet. Die Zahnflächen *a b* und $a_2\, c_2$ sind an der Welle *w*, $a_2\, d_2$ und *c d* an w_1 fest. Die Berührung zwischen $a_2\, b_2$ und $a_2\, c_2$ hört eben auf, während die zwischen *a b* und *c d* beginnt. Zuerst gleitet die Kante *a* der Fläche *a b* längs *c d* gegen *d* hin und erreicht ihre äusserste Stellung a_1, wenn sie die Verbindungslinie $w\, w_1$ der beiden Axen trifft; zugleich kommt *c d* nach $c_1\, d_1$ und d_1 fällt mit a_1 zusammen. Von dieser Stellung an gleitet die Kante d_1 der Fläche $c_1\, d_1$ längs $a_1\, b_1$ gegen b_1 hin, bis $a_1\, b_1$ nach $a_2\, b_2$ und $c_1\, d_1$ nach $c_2\, d_2$ gelangen, wobei b_2 und d_2 zusammenfallen. Zugleich tritt der nächstfolgende Zahn der Welle w_1 mit der *a b* gegenüberliegenden Fläche des Zahnes *w z* in Eingriff, so dass beständig der Raum ober dem Saugkanal gegen Aussen abgeschlossen ist.

Die Form der Zahnflanken, bei welcher die beschriebene Art des Eingriffes stattfindet, ergibt sich auf folgende Art. Da die Zähne ohne Spielraum in einander greifen sollen, ist die Zahndicke gleich der Lückenbreite, beide auf dem Theilkreis gemessen, dessen Halbmesser $w_1\, d_1$ Fig. 15 gleich ist der halben Entfernung

*) Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, Taf. 54.



$w w_1$ der Axen. Da drei Zähne vorhanden sind, ist die Zahndicke gleich dem sechsten Theile des Theilkreis-Umfanges, und man findet die Anfangspunkte d und d_2 der Begrenzungslinien $d a$ und $d_2 a_2$ eines zur Axe w_1 gehörigen Zahnes, wenn man von w_1 die Linien $w_1 d$ und $w_1 d_2$ unter 30^0 gegen $w_1 w$ zieht. Ebenso findet man die Anfangspunkte a und a_2 der Curven $a b$ und $a_2 c_2$, welche die Lücke zwischen zwei zur Axe w gehörigen Zähnen begrenzen. Rotiren nun die beiden Theilkreise $t t_1$ mit gleicher Geschwindigkeit in der Richtung der Pfeile, so beschreibt der Punkt a des Kreises t relativ gegen den Kreis t_1 eine Epicycloide. Der Punkt a bleibt daher mit einer am Kreis t_1 festen Linie $c d$ stets in Berührung, wenn diese Linie $c d$ eine Epicycloide mit dem Grundkreis t_1 und dem Erzeugungskreis t ist. Bei der weiteren Drehung aus den Stellungen $a_1 b_1$ und $c_1 d_1$ beschreibt der Punkt d_1 des Kreises t_1 relativ gegen t eine Epicycloide, daher bleibt d_1 mit einer am Kreis t festen Linie $a_1 b_1$ stets in Berührung, wenn $a_1 b_1$ eine wie $c d$ geformte Epicycloide ist. Erhalten also die Zahnflächen diese Gestalt, so erfolgt der Eingriff in der obigen Art. Da das erste Element der Epicycloide normal zur Peripherie des Grundkreises ist, die Normalen der Kreise t und t_1 aber im Punkte a_1 oder d_1 zusammenfallen, so berühren sich die Curven $a_1 b_1$ und $c_1 d_1$ im Halbirungspunkte von $w w_1$, wo der Wechsel des Eingriffes erfolgt.

Damit sicher stets ein luftdichter Abschluss stattfinde, werden sämmtliche Zahncurven etwas nach Aussen, z. B. $d a$ über a hinaus bis c verlängert; hiemit beginnt der Eingriff etwas früher und hört etwas später auf, als bei der streng nothwendigen Länge. Eine continuirliche Fortsetzung der Zahnflächen gegen Innen, z. B. von $b a$ über a hinaus ist nicht zulässig; will man an die Wand $b a$ eine Fortsetzung $a e$ anschliessen, wie es bei einigen Constructionen vorkommt, so muss $a e$ so geformt sein, dass vor Beginn des Eingriffes der Punkt c mit $a e$ nicht in Berührung kommt.

Die Dimensionen eines Fabry'schen Ventilators, der eine gegebene Luftmenge pr. Sekunde fortschaffen soll, ergeben sich wie folgt. Bei jeder Umdrehung schiebt jede Wand $w a$ Fig. 12 der beiden Räder ein Luftvolum $a w g$ gleich $^1/_3$ des Cylinders fort, dessen Halbmesser gleich der radialen Länge R und dessen Länge gleich der parallel zur Axe gemessenen Breite b der Wand $w a$ ist. Bei einer ganzen Umdrehung beider Räder wird daher ein Volum

$$M_1 = 6 \overline{w a g} = 2 \pi b R^2$$

fortgeschafft. Hingegen strömen 6 Prismen Luft von der Länge b

und dem Querschnitt $w f e d c$ in den Saugraum zurück. Verlängert man die Querwände $n d$, $d e$ u. s. w. bis zu ihren Durchschnittspunkten, so erhält man das in Fig. 12 punktirte Sechseck, dessen Fläche der dreifachen des obigen Querschnittes und der 12fachen des Dreieckes $w c d$ gleichkommt. Die bei einer Umdrehung zurückströmende Luftmenge M_2 ist daher sehr nahe

$$M_2 = 24\, b \,.\, \overline{w c d} = 12\, b \,.\, \overline{w c} \,.\, \overline{c d}.$$

Setzt man $w c = r$, so wird

$$M_2 = 12\, b\, r \,.\, r \, tang\, 30^0 = 6{\cdot}929\, b\, r^2.$$

Der Strecke wird mithin pr. Umdrehung nur das theoretische Volum

$$M = M_1 - M_2 = 2\,\pi\, b\, R^2 - 6{\cdot}929\, b\, r^2 = 2\,\pi\, b\, R^2 \left(1 - 1{\cdot}103 \frac{r^2}{R^2}\right)$$

entnommen. Bezeichnet nun φ den Windeffekt, so ist $\varphi\, M$ das wirkliche Volum pr. Umdrehung; sei ferner m das wirkliche Volum pr. Sekunde, v die Umfangsgeschwindigkeit der Armenden a Fig. 12, so ist

$$\frac{m}{\varphi\, M} = \frac{v}{2\, R\, \pi}$$

$$m = \frac{\varphi\, v\, M}{2\, R\, \pi} = \varphi\, v\, \frac{b}{R}\, R^2 \left(1 - 1{\cdot}103\, \frac{r^2}{R^2}\right),$$

und hieraus folgt

$$R = \sqrt{\frac{m}{\varphi\, v\, \frac{b}{R} \left(1 - 1{\cdot}103\, \frac{r^2}{R^2}\right)}}.$$

Nimmt man $\frac{r}{R}$ klein, so wird auch R klein, und der Apparat erhält geringe Dimensionen. Es muss jedoch, da Fig. 12 $\overline{w c} = r$, daher der Abstand $w\, w_1$ beider Axen gleich $2\, r$ ist, jedenfalls

$$R < 2\, r, \ \frac{r}{R} > \frac{1}{2}$$

sein, damit die radialen Wände des einen Rades neben der Axe des andern passiren können. Bei den ausgeführten Fabry'schen Ventilatoren ist nahe

$$\frac{r}{R} = 0{\cdot}6 \ \text{und}$$

$$\frac{b}{R} = 1{\cdot}2 \ \text{bis} \ 1{\cdot}8.$$

Nimmt man $\frac{b}{R} = 1{\cdot}2$, so wird

$$R = 1{\cdot}18 \sqrt{\frac{m}{\varphi v}};$$

ferner hat man

$$r = 0{\cdot}6\ R,\ b = 1{\cdot}2\ R;$$

die Anzahl n Umgänge pr. Minute ist

$$n = \frac{60\,v}{2\,R\,\pi} = 9{\cdot}55\ \frac{v}{R},$$

und die Entfernung der Axen $2\,r = 1{\cdot}2\ R$.

Der Windeffekt φ beträgt bei einer Depression von 4—5 Centimetern Wasser 0·7, der Wirkungsgrad 0·5 bis 0·6; bei $3{\cdot}4^m$ Durchmesser die Umgangszahl 36 bis 40, daher ist die Umfangsgeschwindigkeit $v = 6{\cdot}4$ bis $7{\cdot}1^m$. Nach neueren Angaben ist bei längerem Gebrauche nur eine geringere Umgangszahl zulässig und sinken auch Windeffect und Wirkungsgrad.

Es sei eine Windmenge $m = 8{\cdot}75$ Cubik-Meter pr. Sekunde anzusaugen. Nimmt man $\varphi = 0{\cdot}7$, $v = 6^m$, so wird nahe

$$R = 1{\cdot}7^m,\ r = 1^m,\ b = 2^m,$$
$$n = 34,$$

die Entfernung der Axen 2^m.

In diesen Dimensionen werden gewöhnlich die Ventilatoren hergestellt und es ist danach auch die Zeichnung Fig. 12 und 18 ausgeführt. Soll eine grössere Leistung erzielt werden, so erhalten die Räder bei sonst ungeänderten Dimensionen die Breite $b = 3^m$.

Die Fabry'schen Ventilatoren sind namentlich in Belgien viel verbreitet. In der That zeichnen sie sich gegen gewöhnliche Kolbenmaschinen durch geringere Dimensionen und Herstellungskosten, so wie durch einen höheren Wirkungsgrad aus, welcher besonders dem Wegfallen der Ventile zuzuschreiben ist. Dagegen erfordern sie eine genaue Ausführung, welche noch schwerer zu erhalten als herzustellen ist. Bei dem im Verhältniss zu den Dimensionen leichten Bau treten Formänderungen ein, die Holzflächen verziehen sich, der dichte Schluss hört bei längerem Gebrauche auf, der Windeffekt sinkt und in Folge dessen auch der Wirkungsgrad. Aus diesen Ursachen hat die frühere Vorliebe für diese Apparate bedeutend abgenommen.

Der Ventilator von Roots zu Connerville in Nordamerika*) stimmt dem Principe nach mit dem Fabry'schen überein. Derselbe

---

*) Rittinger, Mittheilungen über Berg- und Hüttenwesensmaschinen der Pariser Ausstellung 1867, S. 31; Dingler's polyt. Journal 1868, 187. Bd. S. 301.

besteht aus zwei Rädern *ab* Fig. 22 mit je zwei Zähnen, welche in einem Gehäuse *g* in der Richtung der Pfeile rotiren und stets im Eingriff bleiben; *s'* ist die Saug- und *d* die Blaseöffnung. Der Apparat wird als Gebläse für Cupolöfen empfohlen.

Einen anderen, dem Fabry'schen nahe verwandten Ventilator von Evrard in Mons zeigt Fig. 14*). Darin sind *a* und *b* zwei in dem Gehäuse *g* rotirende Cylinder, welche gleiche Umfangsgeschwindigkeit erhalten. An *a* sind vier radiale Flügel *f*, an dem Cylinder *b*, der den halben Durchmesser von *a* besitzt, zwei nach verlängerten Epicycloiden gekrümmte Ausschnitte *c d* angebracht. Rotiren beide Räder in der Richtung der Pfeile, so schaffen die Flügel *f* aus dem Saugkanal *s* bei einer Umdrehung des grösseren Cylinders ein Luftvolum fort, dessen Querschnitt ringförmig ist und die Flügellänge zur radialen Dimension hat; gleichzeitig beschreibt der kleinere Cylinder *b* zwei Umdrehungen und führt an der entgegengesetzten Seite vier Luftvolume vom Querschnitt der Lücke *c* oder *d* fort. Hingegen wird an der Berührungsstelle beider Cylinder durch jeden Flügel *f n* ein Volum *f n c o*, bei weiterer Drehung, sobald die Lücke *c* in die punktirte Stellung c_1 gelangt ist, durch die Kante n_1 des Einschnittes c_1 ein ebenso grosses Volum $f_1\, n_1\, c_1\, o_1$ abgeschlossen und zurückgeführt. Die pr. Umdrehung des grossen Cylinders zurückgeführte Luftmenge hat also den 8fachen Querschnitt *f n c o*. Bei gleicher Luftlieferung erhält dieser Apparat, da das Innere der Cylinder einen todten Raum bildet, grössere Dimensionen als der Fabry'sche.

Ein dritter hieher gehöriger Apparat ist Cooke's Ventilator**) Fig. 16. Derselbe besteht aus einem Cylinder *a*, welcher in dem Gehäuse *c* um die excentrische Axe *b* in der Richtung des Pfeiles rotirt. *A* ist die Saug- und *B* die Blaseöffnung. Eine drehbare Klappe *d* wird durch eine Kurbel derart bewegt, dass sie sich stets dicht an den Cylinder *a* schliesst; desgleichen bewegt sich der letztere möglichst luftdicht im Gehäuse. Das pr. Umdrehung angesaugte Luftvolum ist nahe gleich dem Unterschied zwischen den Volumen des Gehäuses *g* und des Cylinders *a*. Der dichte Anschluss der Klappe *d* dürfte übrigens auch durch einen an deren Axe angebrachten Hebel mit Gewicht zu erreichen sein.

---

*) Rittinger, Mittheilungen über Berg- und Hüttenwesensmaschinen der Pariser Ausstellung 1867, S. 30.

**) Dingler's polyt. Journal 1870, 197. Bd. S. 4.

Ventilator von Lemielle.

Diese Maschine besteht aus einer Trommel *t* Fig. 20, welche um die feststehende Axe *a* rotirt, und an deren Umfang die Flügel oder Schaufeln $f_1 f_2 \ldots$ drehbar befestigt sind. Die Axe *a* ist, wie der Schnitt Fig. 21 andeutet, gebogen und die Flügel sind durch je zwei Stangen *s*, welche durch Schlitze in der Trommel *t* gehen, mit dem mittleren Theil *b* der Axe verbunden. Rotirt die Trommel in der Richtung des Pfeiles, so nehmen die Flügel successiv die Stellungen $f_1 f_2 f_3$ u. s. w. ein; die Flügelenden beschreiben Kreise, da sie durch die Stangen *s* stets in gleicher Entfernung von der Axe *b* gehalten werden. Der Apparat ist in einem cylindrischen Behälter mit ebenen Endflächen eingeschlossen; der Kanal *S* führt in die zu ventilirende Strecke und *T* in's Freie. Zwischen je zwei Flügeln $f_2 f_3$ ist ein gewisses Luftvolum enthalten, welches aus *S* entnommen und nach *T* geschafft wird, während gleichzeitig die zurückkehrenden Flügel $f_5 f_6$ das dazwischen liegende kleinere Volum nach *S* zurückführen; die Differenz beider Volume ist die von jedem Flügel bei einer Umdrehung aus der Grube entfernte Luftmenge.

Die genannte Menge bleibt ungeändert, welche Querschnittsform auch immer die Seitenwände der Trommel erhalten. Krümmt man z. B. diese Wände einwärts gegen die Axe, so wird dadurch das zwischen f_2 und f_3 liegende, hinausgeschaffte Volum vergrössert, um eben so viel aber auch die zwischen f_5 und f_6 enthaltene zurückgeführte Luftmenge vermehrt, daher die Differenz beider dieselbe bleibt. Man kann sich daher die Trommel durch radiale Wände ersetzt denken, welche von den Drehungspunkten der Flügel zur Axe *a* gehen. Es seien Fig. 19 *BC* und *EC* zwei von diesen Scheidewänden, welche um die Axe *C* in der Richtung des Pfeiles rotiren, *BA* und *EF* zwei auf einander folgende Flügel, *D* der Drehungspunkt der Zugstangen *DA* und *DF*, *S* der Kanal, aus dem gesaugt und *T* der Kanal, durch welchen ausgeblasen wird. Das Flügelende *F* sei eben am Rande des Saugkanales *S* angelangt, so ist die von jedem Flügel bei einer Umdrehung fortgeschaffte Luftmenge das Product aus der Breite der Flügel, parallel zur Axe gemessen, und der Fläche $f = ABCEFG$. Die fortgeführte Luftmenge wird am grössten, wenn das Flügelende *F* den Rand der Saugöffnung in dem Momente passirt, wo die Fläche *f* ein Maximum ist. Die genaue Bestimmung der Stellung der Flügel gegen *CD*, bei welcher dies eintritt, führt auf weitläufige Rechnungen; jedenfalls wird das obige Maximum in dem Momente nahe erreicht, wo die

Scheidewände BC und CE symmetrisch zur Linie DC stehen, wo also, unter z die Flügelzahl verstanden, der Winkel

$$BCD = DCE = \frac{1}{2}\frac{2\pi}{z} = \frac{\pi}{z}$$

ist. Denn es ist die Fläche

$$f = KCLG + FEL - A\dot{B}K;$$

bei der genannten Stellung der Flügel wird nun $KCLG$ am grössten, und die Fläche f nimmt zwar bei weiterer Drehung noch etwas zu, weil dabei $FEL - ABK$ stärker wächst als $KCLG$ abnimmt, doch ist die resultirende Zunahme eine unbedeutende.

Desgleichen wird das von jedem Flügel pr. Umdrehung zurückgeführte Volum $f_1 = VNCQPO$ nahe am kleinsten, daher die wirklich aus der Strecke fortgeschaffte Luftmenge möglichst gross, wenn das Flügelende V den Rand der Blaseöffnung T in dem Augenblicke erreicht, wo die Scheidewände in CN und CQ zum zweiten Male symmetrisch gegen CD stehen.

Um nun die Dimensionen des Ventilators zu berechnen, hat man, wenn b die Breite der Flügel bedeutet, das bei einer Umdrehung fortbewegte theoretische Volum

$$M = zb(f - f_1);$$

und bezeichnen m das wirkliche Volum pr. Sekunde, φ den Windeffect, v die mittlere Umfangsgeschwindigkeit und R die Länge der Zugstangen AD, so hat man

$$\frac{m}{\varphi M} = \frac{v}{2R\pi}$$

$$(1) \quad \ldots \quad m = \frac{\varphi}{2\pi}\frac{v}{R}M = \frac{\varphi}{2\pi}vz\frac{b}{R}(f - f_1).$$

Es sind Fig. 19 die Flächen ABH und EFJ congruent, da $AB = EF =$ der Flügellänge l, dann die Linien BH und EJ gleich sind und die Bögen AH und FJ normal schneiden; ferner sind die Dreiecke BCD und CDE congruent, daher wird

$$f = ABCEFG = HDJG + 2BCD.$$

Ebenso ist

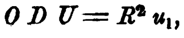
$$f_1 = PQCNVO = ODU - 2CDN.$$

Da die Dreiecke BCD und CDN gleiche Basis und Höhe haben, sind sie ebenfalls congruent, und es folgt

$$f - f_1 = HDJG - ODU + 4BCD.$$

Setzt man die Winkel $HDG = u$ und $ODC = u_1$, so wird

$$HDJG = 2\frac{R}{2}Ru = R^2u,$$



$$ODU = R^2 u_1,$$

und wenn man die Excentricität $CD = e$ und die Entfernung BC der inneren Flügelenden von der Axe C gleich r setzt, so hat man, da der Winkel BCD gleich $\frac{\pi}{z}$ ist, das Dreieck

$$BCD = \frac{e\,r}{2} \sin \frac{\pi}{z}.$$

Durch Einführung dieser Werthe ergibt sich

$$f - f_1 = R^2 (u - u_1) + 2\,e\,r \sin \frac{\pi}{z}.$$

Verlängert man ND über D, so wird der Winkel EDY gleich $u - u_1$; zieht man ferner EY senkrecht auf DY und DX senkrecht auf EC, so sind die rechtwinkligen Dreiecke EYN und DXN ähnlich, und es ist

$$\frac{EY}{DX} = \frac{EN}{DN},$$

oder wenn noch $DE = DB = p$ und $DN = q$ gesetzt wird,

$$\frac{p \sin (u - u_1)}{e \sin \frac{\pi}{z}} = \frac{2\,r}{q}$$

$$u - u_1 = \arcsin \frac{2\,r\,e \sin \frac{\pi}{z}}{p\,q}.$$

Durch Substitution folgt

$$f - f_1 = R^2 \arcsin \frac{2\,r\,e \sin \frac{\pi}{z}}{p\,q} + 2\,r\,e \sin \frac{\pi}{z}.$$

Endlich ergibt sich aus den Dreiecken BCD und CDN

$$p^2 = r^2 + e^2 - 2\,r\,e \cos \frac{\pi}{z}$$

$$q^2 = r^2 + e^2 + 2\,r\,e \cos \frac{\pi}{z},$$

und es wird

$$(2)\; f - f_1 = R^2 \arcsin \frac{2\,r\,e \sin \frac{\pi}{z}}{\sqrt{(r^2 + e^2)^2 - 4\,r^2 e^2 \left(\cos \frac{\pi}{z}\right)^2}} + 2\,r\,e \sin \frac{\pi}{z}.$$

Setzt man, um die Bedingung zu finden, unter welcher der im ersten Gliede des Werthes von $f - f_1$ vorkommende Bogen seinen grössten Werth $\frac{\pi}{2}$ erreicht, den Sinus dieses Bogens gleich 1, so ergibt sich

$$2\,r\,e\,\sin\frac{\pi}{z} = \sqrt{(r^2+e^2)^2 - 4\,r^2\,e^2\left(\cos\frac{\pi}{z}\right)^2},$$

$$4\,r^2\,e^2\left(\sin\frac{\pi}{z}\right)^2 = (r^2+e^2)^2 - 4\,r^2\,e^2\left(\cos\frac{\pi}{z}\right)^2$$

$$4\,r^2\,e^2 = r^4 + e^4 + 2\,r^2\,e^2$$

$$(r^2 - e^2)^2 = 0$$

$$r = e.$$

Das erste Glied im Werthe (2) von $f - f_1$ erreicht also, R als gegeben vorausgesetzt, seinen Maximalwerth $\frac{R^2\,\pi}{2}$ unabhängig von z und den absoluten Werthen von r und e, wenn $r = e$ ist. Hingegen wächst das zweite Glied, wenn z klein und $r\,e$ gross ist. Dieses Product ist die Fläche eines Rechteckes, dessen Seiten r und e sind; die Summe $r + e$ darf R nicht übersteigen, da sonst Fig. 19 die Wand $C\,N$ an das Gehäuse streifen würde, dessen Halbmesser R ist; mithin hat man $r + e$ als gegeben anzusehen und es wird das obige Rechteck am grössten, wenn dasselbe ein Quadrat, d. h. wenn $r = e$ ist. Es ergibt sich also eine geringe Flügelzahl z und wieder $r = e$ als vortheilhaft.

Die Excentricität e muss jedoch aus folgendem Grunde bedeutend kleiner als r genommen werden. Der Winkel $B\,A\,D$ eines Flügels $A\,B$ gegen die Lenkstange $A\,D$ darf bei keiner Stellung des Apparates zu klein werden, weil sonst die Stange $A\,D$ wegen des Unterschiedes der auf beide Flächen des Flügels $A\,D$ wirkenden Spannungen der Luft zu sehr auf Druck beansprucht wird. Ist $A\,B$ Fig. 19 eine beliebige Flügelstellung, so hat man aus den Dreiecken $A\,B\,D$ und $B\,C\,D$

$$\overline{B\,D}^2 = l^2 + R^2 - 2\,l\,R\cos B\,A\,D = r^2 + e^2 - 2\,r\,e\cos B\,C\,D.$$

Hieraus folgt

$$\cos B\,A\,D = \frac{l^2 + R^2 - r^2 - e^2 + 2\,r\,e\cos B\,C\,D}{2\,l\,R}.$$

Der Winkel $B\,A\,D$ erreicht offenbar seinen kleinsten Werth, wenn $\cos B\,C\,D = 1$ ist, d. h. wenn der Drehpunkt B des Flügels in der Verlängerung von $C\,D$ liegt. Setzt man jenen kleinsten Werth gleich α, so wird

$$\cos\alpha = \frac{l^2 + R^2 - (r - e)^2}{2\,l\,R}.$$

Hieraus folgt

$$l^2 - 2\,l\,R\cos\alpha = (r - e)^2 - R^2$$

$$l = R\cos\alpha - \sqrt{R^2\cos\alpha^2 + (r - e)^2 - R^2}.$$

(3) . . . $l = R \cos\alpha - \sqrt{(r-e)^2 - R^2 \sin\alpha^2}$.

Ist also der kleinste Werth α gegeben, den der Winkel zwischen Flügel und Leitstange annehmen darf, so folgt aus (3) die entsprechende Länge l des Flügels; ferner lässt sich aus (3) eine Beziehung zwischen e und r ableiten. Soll nämlich l einen reellen Werth erhalten, so muss

$$r - e > R \sin\alpha,$$

(4) . . . . $e < r - R \sin\alpha$,

also e gegen r um so kleiner sein, je grösser α ist. Endlich muss noch, wie schon bemerkt,

(5) . . . . $r + e < R$

sein. Bei einem wirklich ausgeführten Ventilator*) sind drei Flügel angeordnet, daher

$$z = 3,\ \frac{\pi}{z} = 60^0;$$

ferner ist

(6) . . . . $r + e = 0{\cdot}89\, R$.

Hieraus folgt

(7) . . . . $r = 0{\cdot}89\, R - e$.

Führt man diesen Werth in (4) ein, so ergiebt sich

$$e < 0{\cdot}89\, R - e - R \sin\alpha$$

$$2\, e < R\,(0{\cdot}89 - \sin\alpha).$$

Der kleinste Winkel α zwischen Flügel und Lenkstange ist 20^0; sonach muss, da $\sin 20^0 = 0{\cdot}3420$ ist,

$$e < 0{\cdot}274\, R$$

sein. In der That ist rund

(8) . . . . $e = 0{\cdot}230\, R$,

mithin wird wegen (7) und (3)

(9) . . . . $r = 0{\cdot}66\, R$

(10) . . . . $l = 0{\cdot}68\, R$.

Setzt man die Werthe (8) und (9), sowie $z = 3$ in (2) ein, so folgt

$$f - f_1 = 0{\cdot}87\, R^2;$$

da ferner bei obigem Ventilator wie gewöhnlich beim Fabry'schen $b = 1{\cdot}2\, R$ ist, so ergiebt sich aus (1)

---

*) Zeichnung und Beschreibung dieses Ventilators sind enthalten im Bull. de la soc. de l'industrie minérale, 1857, 3. Bd. S. 157, Taf. 7—9; weniger vollständig in Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, 1861, Taf. 55.

$$m = \frac{\varphi}{2\pi} v \,.\, 3 \,.\, 1{\cdot}2 \,.\, 0{\cdot}87\, R^2,$$

und hienach wird

(11) . . . . $R = 1{\cdot}42 \sqrt{\frac{m}{\varphi v}}$.

Die Drehungspunkte der Flügel liegen etwas ausserhalb der Ecken der sechsseitigen Trommel, um den Flügeln freie Bewegung zu gestatten; die Seitenlänge der Trommel ist daher etwas kleiner als r. Die mittlere Umdrehungsgeschwindigkeit v darf der Erfahrung zufolge nicht mehr als 7 bis 8 Meter betragen; der Windeffect φ erreicht bei einer Depression von 5 Centimetern Wasser und der obigen Umfangsgeschwindigkeit den Werth 0·8 bis 0·9, der Wirkungsgrad steigt über 0·6; beide Werthe sollen aber nach längerem Gebrauche sinken.

Es sei wie bei dem oben berechneten Fabry'schen Ventilator eine Windmenge von 8·75 Cubik-Meter pr. Sekunde auszusaugen. Nimmt man wie dort

$$\varphi = 0{\cdot}7, \; v = 6^m,$$

so folgt aus (11)

$$R = 2{\cdot}05^m;$$

ferner aus (8) bis (10)

$$e = 0{\cdot}472^m, \; r = 1{\cdot}35^m, \; l = 1{\cdot}39^m,$$

und die Breite b wird

$$b = 1{\cdot}2\, R = 2{\cdot}46^m.$$

Wenn die Dimensionen e, r und l bei der Ausführung nicht ganz genau eingehalten werden, so ist der Gang des Apparates nicht gestört; es hat dies nur die Folge, dass der Winkel α etwas von 20^0 verschieden ausfällt.

Behält man $z = 3$ und die Beziehung (6) bei, und gibt der Excentricität e den grössten unter diesen Bedingungen zulässigen Werth $0{\cdot}274\, R$, so wird

$$r = 0{\cdot}616\, R, \; l = R \cos \alpha = 0{\cdot}94\, R,$$

$$f - f_1 = 1{\cdot}075\, R^2$$

$$R = 1{\cdot}29 \sqrt{\frac{m}{\varphi v}},$$

daher das Gehäuse einen etwas geringeren Durchmesser erhält; dagegen wird die Flügellänge l, welche früher nahe gleich r war, bedeutend grösser. Die Trommel wäre dann nicht mehr sechseckig, sondern dreieckig auszuführen, weil sonst die Schlitze, durch welche die Stangen s Fig. 20 gehen, die Kanten der Trommel schneiden.

Die richtige Stellung der Saug- und Blaseöffnung ST Fig. 19 gegen CD findet man, wenn man zwei auf einander folgende Flügel in den beiden Stellungen AB und EF, VN und PQ zeich-

net, wo ihre Anfangspunkte *B* und *E*, *N* und *Q* gleich weit von *C D* abstehen; die Ränder der Blaseöffnung müssen dann zwischen den erhaltenen Endpunkten *A* und *V*, die der Saugöffnung *S* zwischen den Endpunkten *P* und *F* der gezeichneten Flügelstellungen, jedoch nahe den genannten Punkten liegen, damit einerseits Saug- und Blaseöffnung nie mit einander communiciren, andererseits stets das grösstmögliche Luftvolum dem Saugraum entnommen und das kleinstmögliche zurückgeführt werde. Die Kanäle *S* und *T* selbst können übrigens eine beliebige Richtung erhalten und von der Mündung an auch erweitert oder verengert werden, je nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Luft dieselben durchströmen soll.

Fig. 23 und 24 zeigen einen Lemielle'schen Ventilator, der nach den im obigen Beispiele berechneten Dimensionen ausgeführt ist.*) Der Apparat befindet sich in einer gemauerten Grube; die Trommel besteht aus zwei gusseisernen Armsternen *a* mit sechseckigen Kränzen, an welchen vertikale gefalzte Bretterwände *b* aus Eichenholz von 4 Centimeter Stärke befestigt sind. Diese Wände reichen möglichst nahe an den Boden und an die obere Bretterdecke, welche den Ventilatorraum gegen Aussen abschliesst. Den Träger für die Trommel bildet die gusseiserne hohle Spindel *c*; sie ist an beiden Enden gekröpft und unten in einem gusseisernen Ständer *s* verkeilt, der auf einem grossen Quader ruht. Der untere Armstern *a* dreht sich frei auf der Spindel *c*, der obere ist an der kurzen hohlen Welle *n* festgekeilt, welche in einem Fusslager am oberen Ende der Spindel *c* ruht; die letztere trägt daher den oberen Armstern *a*, und dieser mittelst der Bretter *b* den unteren Armstern. Die Welle *n* geht durch ein Halslager, welches an dem Rahmen *r* der liegenden Dampfmaschine *d* befestigt ist, die eine an der Welle *n* befindliche Kurbel, somit auch die Trommel in Umdrehung setzt.

Fig. 30 zeigt in grösserem Massstabe die Welle *n*, deren Fusslager am oberen Ende der Spindel *c* nebst dem zur Stütze dienenden Keil *e*, den Armstern *a* und die Kurbel *k*, sowie das Halslager der Welle *n* im Rahmen *r*. Die Flügel *f* Fig. 24 sind mit den vorspringenden Ecken der Armsterne *a* durch Charniere verbunden; sie bestehen aus vertikalen gefalzten Brettern, an einem Rahmen befestigt, der aus horizontalen Eisenschienen und zwei längs der ver-

*) Die Construction ist entnommen aus Bull. de la soc. de l'ind. minérale, 1857, 3. Jahrgang, Taf. 7—9; da die Dimensionsverhältnisse dieser Originalzeichnung der obigen Berechnung zu Grunde gelegt wurden, erscheinen sie auch unverändert in Fig. 23 und 24.



ticalen Flügelränder herablaufenden Gusseisenplatten zusammengesetzt ist, wovon die der Trommel zunächst liegende wegen dichteren Schlusses cylindrisch abgerundet ist. Aus letzterem Grunde sind auch die Drehpunkte der Leitstangen *l* etwas von den Flügelenden zurückgerückt; die Verbindung der Stangen *l* mit der Spindel *c* ist ähnlich wie die der Excenterstangen mit den Excentern bei Dampfmaschinen hergestellt. Die Schlitze in der Trommelwand *b* Fig. 25, durch welche die Lenkstangen *l* gehen, sind durch horizontal aufgenagelte Leisten *p* eingefasst und zwei Lederstreifen *q* angebracht, welche der Stange *l* das nöthige Spiel gewähren, vor und hinter derselben jedoch dicht an einander schliessen.

Die Dampfmaschine ruht, wie bemerkt, auf dem Fundamentrahmen *r* Fig. 23, welcher den Raum für den Ventilator überbrückt; die Bewegung des Schiebers erfolgt durch eine Gegenkurbel; als Schwungrad wirkt das Ventilatorrad selbst. Die Anordnung der Maschine zeigt Fig. 26 im Grundriss. Die Kolbenstange *h* ist durch eine Traverse *o* und zwei Stangen *s* mit einer zweiten Traverse *u* verbunden, in deren Mitte sich das Lager für den Zapfen der Kurbel *k* befindet; die Kolbenstange setzt noch die zwei Speisepumpen *i* in Thätigkeit. Bei dieser Construction nimmt die Maschine eine so geringe Länge ein, dass sie auf der Mauerung des Ventilatorraumes fundirt werden kann. Die Innenwand und der Boden des letzteren erhalten einen Anwurf aus Mörtel, mit Kuhhaaren gemengt; die Flügel des bereits aufgestellten Ventilators werden als Chablone zur Glättung des partienweise aufgetragenen Mörtels benützt. Dadurch erhält das Gehäuse den genau richtigen Querschnitt, welcher etwas vom kreisförmigen abweicht, weil die äusseren Drehungspunkte der Stangen *l* Fig. 24 nicht mit den Endpunkten der Flügel *f* zusammenfallen. Die cylindrische Mauerung besteht aus Ziegeln oder Quadern und hat 0·6^{m} Dicke, weil sie zugleich als Fundament für die Dampfmaschine dient.

Auch der Lemielle'sche Ventilator lässt sich durch Umkehrung der Drehungsrichtung in eine blasende Maschine verwandeln. Da jedoch die Drehungspunkte der Lenkstangen etwas Spielraum besitzen, ist dabei ein Anstreifen der Flügelenden am Gehäuse zu besorgen. Der Apparat erscheint complicirt und lässt wegen der daran vorkommenden Gelenke, welche sich abnützen, keinen dauernd guten Gang erwarten; allerdings beträgt die Drehung an den Endpunkten der Flügel nur Theile eines Kreises. Nach den früheren Berichten sind die Leistungen sehr befriedigend; nach späteren Angaben sinken Windeffect und Wirkungsgrad bei längerem Gebrauche

bedeutend herab und wäre der Lemielle'sche Ventilator in Bezug auf praktische Brauchbarkeit unter den Fabry'schen zu stellen.

Ventilator von Nyst.

Obschon dieser Apparat, soviel bis jetzt bekannt, blos im Projecte existirt*), soll derselbe doch hier nicht übergangen werden, da seine originelle Construction gegen die beiden vorigen im Princip den Vortheil darbietet, bei gleicher Windlieferung kleinere Dimensionen zu verlangen.

Der Nyst'sche Ventilator besteht aus der festen Axe a Fig. 28 und 29, auf welcher die Scheiben p und p_1 lose aufgeschoben sind, die mittelst Transmission in gleichem Sinne gedreht werden. Die obere Scheibe p_1 ist im Grundriss Fig. 29 punktirt angedeutet. Zwischen beiden Scheiben befinden sich vier verticale Flügel r, die mit je zwei Zapfen z und z_1 versehen sind. Die Zapfen z befinden sich an der Unter-, die Zapfen z_1 an der Oberfläche der Flügel r; die ersteren sind in der Scheibe p, die letzteren in p_1 drehbar. Hienach ist klar, dass bei der angedeuteten Drehung der Scheiben $p\,p_1$ die Flügel sich stets parallel zu ihrer ursprünglichen Lage bewegen; jeder Punkt derselben legt einen Kreis zurück, dessen Halbmesser gleich ist der Entfernung vom Mittelpunkt einer Scheibe zu den Drehungszapfen der Flügel. Am Boden des gemauerten Behälters, der den Apparat einschliesst, ist eine kreisförmige Vertiefung angebracht, worin sich die untere Scheibe p möglichst dicht schliessend bewegt. Oben deckt eine Gusseisenplatte den Behälter. In den letzteren münden ferner die zwei Saugkanäle S; B sind die Blaseöffnungen. Der Raum in der Mitte, welchen die Flügel bei ihrer Bewegung nicht durchschneiden, ist durch zwei Blechwände k ausgefüllt, welche durch Streben g gegen die Axe a gestützt sind. Um endlich an der Stelle, wo die Flügel die Spitze des Blechkernes k passiren, dichten Schluss zu erhalten, sind zwei Schieber s Fig. 28 mit Rollen an den Enden angebracht, welche durch Federn stets gegen den Blechkern hin gedrückt und von den vorübergehenden Flügeln zurückgeschoben werden.

Die zwischen den Flügeln befindliche Luft wird durch die Oeffnungen B in's Freie gedrückt, daher aus den Kanälen S, welche mit der zu ventilirenden Strecke in Verbindung stehen, fortwährend neue Luft nachgesaugt.

Die Aussenflächen der Flügel müssen, während sie die Spitze

*) Revue universelle, 7. Bd. S. 326.



des Kernes k passiren, mit derselben stets in Berührung bleiben und daher entsprechend gekrümmt sein. Es sei Fig. 27 MN die Mittellinie eines Flügels bei Beginn des Ueberganges; die Endpunkte MN bewegen sich in zwei Kreisbögen MPN und NQ. Relativ gegen die fest gedachte Linie MN beschreibt daher die Spitze N des Blechkernes einen Kreisbogen NOM, welcher mit MPN den gleichen Halbmesser, jedoch entgegengesetzte Krümmung hat; soll also N stets mit der Flügelfläche in Berührung bleiben, so ist letztere nach einem ebenso geformten Kreisbogen zu krümmen. Mit demselben Halbmesser sind die Wände des Blechkernes k, sowie die des umgebenden Gehäuses zu verzeichnen. Die Drehzapfen der Flügel sind in der oberen Scheibe von deren Mittelpunkt ebenso weit entfernt als in der unteren; der horizontale Abstand $z z_1$ Fig. 28 der zwei Zapfen eines Flügels ist also gleich der ebenso gemessenen Entfernung der Scheibenmittelpunkte.

Das zwischen zwei Flügeln enthaltene Luftvolum ist am grössten, wenn dieselben symmetrisch gegen die Mittellinie XY Fig. 27 stehen, und soll daher in diesem Augenblicke durch den Flügel F gegen den Saugkanal abgeschlossen werden; die Wand DA des Behälters muss bei dieser Stellung das Ende A des zweiten Flügels E noch etwas überragen, damit keine Communication zwischen dem Saugkanal und der atmosphärischen Luft eintrete.

Bei einer Umdrehung führt nun jeder der vier Flügel aus jeder Saugöffnung ein Luftvolum fort, welches dem Producte aus der Fläche $f = AEBCFD$ Fig. 27 und der senkrecht zur Drehungsebene gemessenen Breite b der Flügel gleichkommt; das theoretische Volum M pr. Umdrehung ist daher

$$M = 8 f b,$$

und wenn R den Halbmesser der Flügelkreise, v die Umfangsgeschwindigkeit, φ den Windeffect und m die wirkliche Windmenge pr. Sekunde bedeuten, so wird

$$\frac{m}{\varphi M} = \frac{v}{2 R \pi},$$

$$m = \frac{\varphi}{2\pi} \frac{v}{R} M = \frac{8 \varphi v}{2 \pi} \frac{b}{R} f.$$

Die Fläche f ist gleich dem Rechteck $ABCD$ weniger dem doppelten Kreisabschnitt DFC, daher

$$f = \overline{AD} \,.\, \overline{CD} - 4 (CFG - CJG).$$

Die Flügel sind aber gleichförmig im Kreise vertheilt, daher ist AD die Seite eines Quadrates mit der Diagonale $2R$, und man hat, wenn die Flügellänge $CD = l$ gesetzt wird,

$$f = l\,R\sqrt{2} - 4\left(\frac{R^2}{2}\ arc\ sin\ \frac{l}{2\,R} - \frac{l}{4}\sqrt{R^2 - \frac{l^2}{4}}\right)$$

$$f = R^2\left(1{\cdot}414\,\frac{l}{R} + \frac{l}{R}\sqrt{1 - \frac{1}{4}\,\frac{l^2}{R^2}} - 2\ arc\ sin\ \frac{l}{2\,R}\right).$$

Bezeichnet e den Abstand der Axen, um welche die obere und untere Scheibe rotiren, zugleich die Entfernung der zwei Drehzapfen eines Flügels, $n\,R$ den Spielraum, der zwischen der Wand des Blechkernes und den Drehungsaxen der Scheiben nothwendig ist, so ergibt sich die Länge des in der Mittelstellung gedachten, in Fig. 27 punktirten Flügels

$$l = 2\left(R - \frac{e}{2} - n\ R\right) = 2\ R\,(1 - n) - e = 1{\cdot}7\ R - e,$$

wenn man $n = 0{\cdot}15$ setzt. Ist e klein, so wird bei gegebenem R die Flügellänge l, daher die Fläche f und die fortbewegte Luftmenge gross. Aus einem anderen Grunde darf e nicht unter eine bestimmte Grenze sinken. Die Mittelpunkte der Flügel bilden die Ecken eines Quadrates, dessen Seite $R\sqrt{2}$ ist, und die Länge der Flügel l übersteigen muss, weil diese sonst bei der Stellung Fig. 28 zusammenstossen würden. Es muss daher

$$l = 1{\cdot}7\ R - e < R\sqrt{2},$$
$$e > 0{\cdot}286\ R$$

sein. Nebstdem wird bei kleinem e, d. h. bei geringem Abstand der beiden Zapfen der Flügel deren Bewegung ungenau.

Setzt man $l = 2\,e$ fest, so ergibt sich aus der obigen Gleichung

$$2\,e = 1{\cdot}7\ R - e$$
$$e = 0{\cdot}567\ R,\ l = 1{\cdot}133\ R.$$

Durch Einführung dieser Werthe in den Ausdruck für f folgt

$$f = 1{\cdot}333\ R^2,$$

und es wird mithin

$$m = \frac{8\,\varphi}{2\,\pi}\ v\ \frac{b}{R}\,.\,1{\cdot}333\ R^2.$$

Setzt man noch wie beim Fabry'schen und Lemielle'schen Ventilator

$$b = 1{\cdot}2\ R,$$

so erhält man

$$R = 0{\cdot}70\sqrt{\frac{m}{\varphi\,v}}.$$

Es sei wie in den beiden vorigen Beispielen $m = 8{\cdot}75$ Cub.-M., $\varphi = 0{\cdot}7$, $v = 6^m$, so findet man

$$R = 1^m,\ e = 0{\cdot}567^m,\ l = 1{\cdot}133^m,\ n\,R = 0{\cdot}15^m.$$

Nach diesen Dimensionen ist die Skizze Fig. 28 und 29 ausgeführt. Vergleicht man dieselbe mit den für gleiche Leistung berechneten, in den Fig. 12, dann 23 und 24 gezeichneten Ventilatoren von Fabry und Lemielle, so fallen die geringeren Dimensionen des Nyst'schen in die Augen. Hingegen dürfte der luftdichte Schluss besonders bei den Schiebern s Fig. 28 schwer zu erhalten sein, und der Mechanismus zur Bewegung der beiden Scheiben $p\,p_1$ nicht einfach ausfallen. Allerdings könnte man nur die eine Scheibe in Drehung setzen, und die andere durch die Flügel mitnehmen lassen; dabei würden jedoch die Zapfen z zu sehr beansprucht sein und die Flügel zu bald aus der richtigen Stellung kommen. Daher scheint ein solcher Apparat einer complicirten äusseren Transmission zu bedürfen.

Ventilator von Jarolimek.

Die Construction dieses Apparates ist nicht minder sinnreich als die des Nyst'schen Ventilators; doch wird die praktische Ausführung wenigstens bei grösseren Dimensionen ebenfalls auf Schwierigkeiten stossen.

Das Princip des Jarolimek'schen Ventilators*) ist folgendes. Ein Kolben PQ Fig. 40, der um die Axe N drehbar ist, wird in einem Gehäuse SDR mit parallelen Stirnwänden so herumbewegt, dass sein Mittelpunkt N einen Kreis beschreibt, und seine Mittellinie PQ stets durch den Fixpunkt C geht. Die Aussenfläche des Kolbens berührt stets die Kante E der Wand EF, welche den Saugraum S und Blaseraum D scheidet. Während die Axe N von ihrer Anfangsstellung C aus, welcher die Kolbenstellung AB entspricht, eine ganze Drehung um den Mittelpunkt O beschreibt, gelangt der Endpunkt B des Kolbens über Q und R nach A, der Endpunkt A über P und E nach B; d. h. der Kolben verrichtet eine halbe Drehung um seine eigene Axe C und schafft dabei das Luftvolum ABR aus dem Saug- in das Blaserohr.

Befindet sich die Axe des Kolbens in G, so fällt seine Mittellinie nach RE, und es ist

$$RG = GE = 2\,\overline{GO} + CE.$$

Setzt man die halbe Länge des Kolbens $CB = RG = l$, die

*) Idee eines neuen Systems für rotirende Motoren u. s. w., von Anton Jarolimek, Official in der Tabakfabrik zu Hainburg, Zeitschr. des öst. Ing. Vereines 1867, S. 185.

halbe Dicke $CE = d$, den Halbmesser GO des Kreises, den der Kolbenmittelpunkt beschreibt, gleich r, so folgt aus obiger Gleichung

(1) . . . . $a = 2r + d.$

Soll die Kolbenoberfläche stets mit der Scheidewand EF in Berührung bleiben, so muss der Querschnitt des Kolbens eine Ellipse sein; denn zieht man ET senkrecht auf PQ, und verbindet N mit G, so sind die Dreiecke ETC und CNG ähnlich, da der Winkel CNG im Halbkreis ein rechter ist. Daher ergiebt sich

$$\frac{CT}{CE} = \frac{CN}{CG}$$

$$\frac{CT + CN}{CE + CG} = \frac{CT}{CE}.$$

Wird die Curve, welche den Querschnitt des Kolbens begrenzt, auf ein Coordinatensystem bezogen, für welches N der Mittelpunkt, NP die Axe der x ist, so sind die Coordinaten des Punktes E

$$CT + CN = x, \quad ET = y,$$

ferner ist

$$CE + CG = d + 2r = a,$$

$$CE = d, \quad CT = \sqrt{d^2 - y^2};$$

diese Werthe, oben substituirt, geben

$$\frac{x}{a} = \frac{\sqrt{d^2 - y^2}}{d}$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{d^2} = 1,$$

die Gleichung einer Ellipse mit den Halbaxen a und d.

Setzt man die veränderliche Entfernung CQ des Endpunktes Q der längeren Kolbenaxe von C gleich ϱ, und den Winkel $BCQ = \varphi$, so ergibt sich aus der Figur

$$\varrho = NQ + NC,$$

(2) . . . . $\varrho = a + 2r \sin \varphi$

als Polargleichung der Linie, welche der Endpunkt der Kolbenaxe beschreibt, bezogen auf die Axe CB und den Pol C.*) Da der Kolbenquerschnitt eine Ellipse ist, kann das Gehäuse nicht nach der Linie (2), sondern muss nach einer einhüllenden Curve geformt sein, welche den Kolbenumfang in seinen aufeinanderfolgenden Stellungen berührt. Diese Curve weicht jedoch von der durch den Punkt B

---

*) Im Originalaufsatz wird nachgewiesen, dass der Endpunkt B des Kolbens eine Epicycloide beschreibt, deren Grund- und Wälzungskreis den Halbmesser r besitzen. Dieser Epicycloide entspricht somit die Gleichung (2).

beschriebenen nur wenig ab, daher letztere bei der nun folgenden Berechnung als Umfangslinie des Gehäuses angenommen wird.

Bezeichnet man die Fläche ABR mit f, den halben Kolbenquerschnitt mit f_1, die Breite des Kolbens, parallel zu seiner Drehungsaxe gemessen, mit b, so ist die theoretische bei einer Umdrehung der Kolbenaxe C um O gelieferte Luftmenge

$$M = (f - f_1)\, b.$$

Seien m die wirkliche pr. Sekunde gelieferte Menge, φ der Windeffect, v_1 die Geschwindigkeit, mit welcher die Kolbenaxe N im Kreise fortschreitet, so wird

$$\frac{m}{\varphi M} = \frac{v_1}{2 r \pi}$$

$$(3) \quad \ldots \quad m = \frac{\varphi v_1}{2\pi} \frac{M}{r} = \frac{\varphi v_1}{2\pi} \frac{b}{r} (f - f_1).$$

Nun ist das Element der Fläche f

$$df = \varrho\, d\varphi \,.\, \frac{\varrho}{2} = \frac{\varrho^2}{2} d\varphi$$

und wegen (2)

$$f = 2\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\varrho^2}{2}\, d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (a^2 + 4 r^2 \sin\varphi^2 + 4 a r \sin\varphi)\, d\varphi.$$

Durch Integration findet man

$$\int a^2\, d\varphi = a^2 \varphi;$$

da ferner

$$\cos 2\varphi = \cos\varphi^2 - \sin\varphi^2 = 1 - 2 \sin\varphi^2$$

$$\sin\varphi^2 = \frac{1 - \cos 2\varphi}{2}$$

ist, so folgt

$$\int 4 r^2 \sin\varphi^2\, d\varphi = 2 r^2 \int (1 - \cos 2\varphi)\, d\varphi = 2 r^2 \left(\varphi - \frac{\sin 2\varphi}{2}\right).$$

Endlich ist

$$\int 4 a r \sin\varphi\, d\varphi = -4 a r \cos\varphi.$$

Summirt man diese Integrale und führt die Grenzen ein, so erhält man

$$f = \frac{a^2 \pi}{2} + \frac{2 r^2 \pi}{2} + 4 a r = \frac{a^2 \pi}{2} + r^2 \pi + 4 a r$$

Da nach (1) $a = 2r + d$ ist, wird weiter

$$f = \frac{\pi}{2}(4 r^2 + d^2 + 4 d r) + r^2 \pi + 8 r^2 + 4 d r$$

$$f = r^2 (3\pi + 8) + d\,r\,(2\pi + 4) + \frac{d^2\pi}{2}.$$

Die Fläche f_1 der halben Ellipse mit den Halbaxen a und d ist aber mit Rücksicht auf den Werth (1) von a

$$f_1 = \frac{a\,d\,\pi}{2} = d\,r\,\pi + \frac{d^2\pi}{2},$$

mithin wird

$$(4) \quad f - f_1 = r^2 (3\pi + 8) + d\,r\,(\pi + 4) = r^2 \left(17{\cdot}425 + 7{\cdot}142 \frac{d}{r}\right).$$

Die in Formel (3) erscheinende Umfangsgeschwindigkeit v_1 des Kolbenmittelpunktes N Fig. 40 lässt sich durch die Geschwindigkeit v des Kolbenendes ausdrücken. Die wirkliche Bewegung des Kolbens von AB bis PQ kann offenbar in die zwei folgenden zerlegt werden: in eine Bewegung parallel zu seiner Stellung, wobei alle Punkte mit CN congruente Kreisbögen beschreiben und C nach N gelangt, dann eine Drehung des Kolbens um die eigene Axe um den Winkel φ. Die Geschwindigkeit v des Kolbenendes Q ist daher die Resultirende aus einer Geschwindigkeit, welche mit der des Mittelpunktes N, d. h. mit v_1 in Grösse und Richtung übereinstimmt, und aus der Umfangsgeschwindigkeit v_2 des Punktes Q um die Kolbenaxe N. Zieht man daher MN senkrecht auf ON, wobei der Winkel MNQ gleich φ wird, ferner $QH = v_1$ parallel zu MN und $QJ = v_2$ senkrecht auf QN, so ist die Diagonale des Parallelogramms $HKJQ$ gleich v. Nun ist die Winkelgeschwindigkeit $\frac{v_2}{a}$, womit der Kolben sich um die eigene Axe N dreht, halb so gross als die Winkelgeschwindigkeit $\frac{v_1}{r}$, mit welcher die Kolbenaxe N sich um O bewegt, d. h. es ist

$$\frac{v_2}{a} = \frac{1}{2}\frac{v_1}{r}, \quad v_2 = \frac{a}{2r} v_1;$$

denn bei jeder Stellung ist der Drehungswinkel $BCQ = \varphi$ des Kolbens um N halb so gross als der seiner Axe $CON = 2\varphi$ um O. Ferner sind die Winkel

$$HQJ = 90 - \varphi, \quad QHK = 180 - (90 - \varphi) = 90 + \varphi,$$

und daher im Dreieck QHK

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2\,v_1\,v_2 \cos(90 + \varphi)$$

und mit Rücksicht auf den obigen Werth von v_2

$$v^2 = v_1^2 \left(1 + \frac{a^2}{4\,r^2}\right) + \frac{a}{r} v_1^2 \sin\varphi$$

$$v^2 = v_1^2\left(1 + \frac{a^2}{4\,r^2} + \frac{a}{r}\ \sin\varphi\right).$$

Die Geschwindigkeit v erreicht ihren grössten Werth, welcher mit v bezeichnet bleiben soll, für $\varphi = 90^0$, d. h. wenn die Kolbenaxe nach $R\,E$ fällt. Hiebei wird

$$v^2 = v_1^2\left(1 + \frac{a^2}{4\,r^2} + \frac{a}{r}\right)$$

$$v = v_1\left(1 + \frac{a}{2r}\right) = v_1\,\frac{2\,r + a}{2\,r}$$

und wegen (1)

(5) . . . . $$v_1 = v\,\frac{2\,r}{4\,r + d}.$$

Führt man die Werthe (4) und (5) in (3) ein, so ergibt sich

$$m = \frac{\varphi\,v}{2\,\pi}\,\frac{2\,r}{4\,r + d}\,\frac{b}{r}\,r^2\left(17{\cdot}425 + 7{\cdot}142\,\frac{d}{r}\right),$$

und hieraus folgt

(6) . . . $$r = \sqrt{\frac{m}{\varphi\,v}}\sqrt{\frac{\pi\left(4 + \frac{d}{r}\right)}{\frac{b}{r}\left(17{\cdot}425 + 7{\cdot}142\,\frac{d}{r}\right)}},$$

worin v die grösste Geschwindigkeit des Kolbenendes bedeutet.

Wie Formel (1) zeigt, wächst die Kolbenlänge $2\,a$, daher auch der Querschnitt des Gehäuses mit d, es ist daher vortheilhaft, das Verhältniss $\frac{d}{r}$ klein zu machen; hierin ist man dadurch beschränkt, dass der Kolben stark genug sein muss, um dem Luftdruck zu widerstehen. Nimmt man

$$d = \frac{a}{6},$$

so folgt wegen (1)

$$d = \frac{2\,r + d}{6},$$

(7) . . . . $d = 0{\cdot}4\,r$ und

(8) . . . . $a = 2{\cdot}4\,r.$

Setzt man ferner analog wie bei den vorigen rotirenden Kolbenmaschinen die Breite

(9) . . . . $b = 1{\cdot}2\,.\,2\,a = 5{\cdot}76\,r,$

so ergibt sich durch Einführung von (7) und (9) in (6)

(10) . . . . $$r = 0{\cdot}344\sqrt{\frac{m}{\varphi\,v}}.$$

Durch die Gleichungen (7) bis (10) sind die Hauptdimensionen des Apparates gegeben.

Es sei wie in den vorigen Beispielen $m = 8{\cdot}75$ Cub.-Meter, $v = 6^m$ und $\varphi = 0{\cdot}7$, so erhält man aus (10)

$$r = 0{\cdot}50^m,$$

und aus (7) bis (9)

$$d = 0{\cdot}2^m, \quad a = 1{\cdot}2^m, \quad b = 2{\cdot}88^m,$$

daher die Länge des Kolbens $2{\cdot}4^m$, dessen Dicke $0{\cdot}4^m$ und die parallel zur Axe gemessene Breite $2{\cdot}88^m$. Der Durchmesser ER des Gehäuses Fig. 40 wird $2{\cdot}4^m$.

Diesen Maassen entsprechend ist die Skizze Fig. 40 gezeichnet. In der Ausführung wäre bei so grossen Dimensionen eine vertikale Stellung der Kolbenaxe zu empfehlen. Das Gehäuse könnte gemauert werden und eine Deckplatte aus Gusseisen erhalten. Die letztere müsste mit einer kreisrunden Oeffnung durchbrochen sein, und in dieser, sowie in einer Vertiefung des Bodens je eine Scheibe von etwas grösserem Durchmesser als CG sich bewegen; in den Scheiben wären die Drehungszapfen für den Kolben zu lagern. Die Scheiben selbst können jedoch keine gemeinschaftliche Drehungsaxe erhalten, da der Raum zwischen denselben für die Bewegung des Kolbens frei bleiben muss. Die untere Scheibe kann daher von der oberen nur durch die Drehungsaxe des Kolbens mitgenommen werden, wobei, wenn die Breite b gross ist, die Theile auf sehr ungünstige Art beansprucht sind, oder es ist eine complicirte Rädertransmission nothwendig, welche beide Scheiben in genau gleiche Drehung versetzt.

Um dem Kolben die Bewegung um seine eigene Axe zu ertheilen, gibt Jarolimek drei Mechanismen an, wovon bei grossen Dimensionen und vertikaler Kolbenaxe der in Fig. 41 skizzirte am besten anzuwenden wäre. Darin bezeichnet a die Scheibe, welche in der Oeffnung des Gehäusedeckels möglichst dicht schliessend umläuft, o die Axe des Kolbens, welche über die Scheibe a vorragt. Während die Scheibe a sich mit der Kolbenaxe o um 360^0 dreht, soll sich der Kolben selbst nur um 180^0 um seine Axe drehen. Zu dem Zwecke ist auf der letzteren das Zahnrad b befestigt; c ist ein Zwischenrad auf einer an der Scheibe a festen Spindel; d ein Zahnrad, welches auf der Drehungswelle von a lose aufgeschoben ist und eine unveränderliche feste Stellung erhält. Das Rad d hat halb so viel Zähne als b. Bei Drehung der Scheibe a wälzt sich c an dem festen Rad d, es drehen sich also die Räder c und b gerade so um ihre Axen, als ob diese ihren Ort nicht veränderten und d gedreht würde. Einer ganzen Umdrehung der Scheibe a entspricht also eine

Drehung der Räder b und c um so viel Zähne, als d besitzt, was bei dem Rade b, wie verlangt, eine halbe Umdrehung ergibt.

3) Kolbenmaschinen mit Wasserliederung.

Bei diesen Maschinen erhält der Kolben eine geradlinig hin- und hergehende Bewegung, und der Raum, worin die Verdichtung der Luft stattfindet, wird durch Wasser gegen Aussen abgeschlossen. Es gehören dazu der Harzer Wettersatz und die Glockenmaschine.

Der Harzer Wettersatz Fig. 31 ist zur Bewegung geringer Luftmengen mitunter gut verwendbar. Er besteht aus dem hölzernen mit Wasser gefüllten Behälter a von rundem oder reckteckigem Querschnitt, durch dessen Boden die mit dem Saugventil s versehene Lutte l gesteckt ist. In das Wasser taucht ein zweiter, unten offener, oben mit dem Druckventil d versehener Behälter b, welcher auf- und niederbewegt wird. Beim Aufgang strömt durch s Luft in den Hohlraum von b, der Wasserspiegel steht dabei ausserhalb von b niedriger als innen, und der Höhenunterschied ist gleich der negativen Wassermanometer-Höhe (Depressionshöhe) der angesaugten Luft. Beim Niedergang tritt die letztere durch d ins Freie, wobei die Spannung in b wegen des Ventilwiderstandes etwas grösser als die atmosphärische, die Stellung der Wasserspiegel die umgekehrte ist. Der Behälter b kann auch Kolben genannt werden, da er ganz wie ein solcher wirkt.

Der Betrieb des Harzer Wettersatzes erfolgt entweder durch Menschenhand, mittelst eines am Kolben befestigten Hebels, oder, wenn der Apparat im Kunstschacht aufgestellt werden kann, durch das Pumpengestänge g, mit welchem der Kolben auf die aus der Zeichnung ersichtliche Weise verbunden ist. Zuweilen werden auch zwei Sätze aufgestellt und ihre Kolben durch einen Balancier gekuppelt, so dass sie abwechselnd saugen.

Soll der Kolben, wie es bei dessen gewöhnlicher Befestigung durch Ketten nothwendig ist, selbstthätig niedergehen, so muss er das hinreichende Gewicht G erhalten. Der grösste Widerstand gegen den Niedergang tritt bei der tiefsten Stellung ein, wo der grösste Auftrieb vorhanden ist. Bezeichnen A den äusseren und a den inneren Kolbenquerschnitt, s die Hubhöhe, h_1 die Wassermanometerhöhe der Luft im Kolben bei dessen Niedergang und γ das Gewicht der Volumseinheit Wasser, so ist jener Widerstand zusammengesetzt aus dem Druck $a\,h_1\,\gamma$ auf den Kolbendeckel und dem Auftrieb,

welcher, da die Tiefe des eingetauchten Theiles nahezu s ist, gleich $(A - a) s \gamma$ gesetzt werden kann. Es muss also mindestens

$$G = a h_1 \gamma + (A - a) s \gamma$$

sein. Der grösste Widerstand W gegen den Aufgang ist hingegen bei der höchsten Stellung vorhanden, wo der Auftrieb nahe gleich Null wird; bedeutet h_2 die Depressionshöhe im Kolben beim Aufgang, so ist

$$W = G + a h_2 \gamma$$

und mit Rücksicht auf den obigen Werth von G

$$W = a (h_1 + h_2) \gamma + (A - a) s \gamma.$$

Wäre die Dicke der Kolbenwände gleich Null, so fiele der Auftrieb $(A - a) s \gamma$ weg, und man hätte

$$G = a h_1 \gamma,$$
$$W = a (h_1 + h_2) \gamma.$$

Wegen des Auftriebes ist also der schliessliche Widerstand, daher auch die Arbeit beim Aufgang grösser als streng nothwendig. Erfolgt nun der Betrieb durch ein Pumpengestänge, so geht jener Mehraufwand an Arbeit beim Niedergang wieder an das Gestänge zurück, da eben der Kolben für den Anfang des Niederganges zu schwer ist. Erfolgt jedoch der Betrieb durch Menschenhand, so ist beim Aufgang jene grössere Arbeit nothwendig und muss der Niedergang verzögert werden; daher in diesem Falle der Auftrieb, mithin $A - a$ klein sein soll. Deshalb ist ein kreisförmiger Kolbenquerschnitt zweckmässiger als ein quadratischer, und wäre die Herstellung aus Blech der aus Holz vorzuziehen.

Die Berechnung der Kolbenfläche a kann wie bei Cylindergebläsen erfolgen. Das Saugventil s Fig. 31 muss hoch genug liegen, um beim Aufgang des Kolbens vom Wasser nicht erreicht zu werden; da nun beim Niedergang der Wasserspiegel tiefer liegt, so ergibt sich bei der tiefsten Kolbenstellung zwischen den verticalen Wänden des Kolbens und der Lutte ein bedeutender schädlicher Raum; derselbe wird um so mehr herabgesetzt, je mehr sich der äussere Durchmesser von l dem innern von b nähert. Während des Betriebes ist darauf zu sehen, dass der Behälter a stets hinreichend mit Wasser gefüllt sei. Der Wirkungsgrad dürfte wegen der Ventile nicht mehr als 0·2 bis 0·3 betragen.

Die Glockenmaschine ist eine Anwendung des Princips des Harzer Wettersatzes in vergrössertem Massstabe und sorgfältigerer Construction. Eine solche Maschine war auf der Grube Marihaye zu Seraing im Betriebe. Ihre Einrichtung ist in Fig. 43 skizzirt.

Sie besteht aus zwei concentrischen Cylindern *a b* aus Blech, von welchen der innere durch eine mit den Saugventilen versehene Blechplatte oben abgeschlossen ist, unten hingegen durch den Kanal *s* mit der Saugstrecke in Verbindung steht. In den mit Wasser gefüllten Zwischenraum der beiden Cylinder taucht der Kolben *c*, Glocke genannt, dessen obere Schlussplatte die Druckventile enthält. Zum Betrieb dient die Dampfmaschine *e*, deren Kolbenstange durch eine über die Rolle *d* laufende Kette mit der Glocke in Verbindung steht. Die Dampfkolbenstange ist nach der anderen Seite hin verlängert und setzt dort in gleicher Art eine zweite Glocke in Gang, welche stets saugt, während die erste bläst, und umgekehrt. Der Niedergang erfolgt selbstthätig und es gilt in Bezug auf das nothwendige Gewicht der Glocke das beim Wettersatz Gesagte. Die Glocke ist vertikal geführt, die Gewichte der Ventile sind ausgeglichen, daher der Wirkungsgrad des Apparates 48 Procente erreicht haben soll.

Fig. 42 zeigt eine Anordnung mit drei Glocken *g*, deren Ketten durch eine gemeinschaftliche Kurbelwelle *w* mittelst Schubstange bewegt werden.

Bei den Glockenmaschinen sind zwar die Kolbenreibung und der aus der Undichtheit der Kolbenliederung entspringende Luftverlust vermieden, doch theilen sie die sonstigen Nachtheile der gewöhnlichen Kolbenmaschinen; insbesondere sind die Anschaffungskosten gross. In späterer Zeit wird blos über eine derartige Construction berichtet, welche von Herrn Struvé zu Swansea in England in mehreren Exemplaren ausgeführt wurde*), und durch die Fig. 34 bis 36 dargestellt ist. Fig. 34 zeigt den Verticalschnitt, zum Theil die Ansicht nach *AB* Fig. 35, letztere Figur den Schnitt, zum Theil die Oberansicht nach *CD* Fig. 34, endlich Fig. 36 den Querschnitt nach *EF* Fig. 35. Ausser den bewegten Theilen ist Alles aus Ziegeln hergestellt. Der Apparat besteht aus zwei ganz gleich construirten doppeltwirkenden Glockenmaschinen, welche durch den Saugkanal *s* mit dem Wetterschacht in Verbindung stehen; *a* ist ein äusserer, *b* ein innerer gemauerter Cylinder, der Zwischenraum beider mit Wasser gefüllt, in welches die oben geschlossene schmiedeiserne Glocke *c* taucht; beide Glocken sind durch zwei Winkelhebel *d* Fig. 34 und die Zugstange *e* verbunden. Die Bewegung erfolgt durch die Schubstange *f* einer Dampfmaschine. Die Anordnung der Ventile ist am besten aus dem Querschnitt Fig. 36 ersichtlich; aus

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1858, 6. Band. S. 110.



dem Saugkanal *s* führt ein verticaler Schacht *n* zu dem ober der Glocke befindlichen, mit starken Bohlen luftdicht bedeckten Raum; *x* sind Saug- und x_1 Druckventile. Ferner ist aus der Strecke *s* ein Kanal *l* durch die beiden concentrischen Mauercylinder *a* und *b* bis zu dem oben offenen Schachte *t* geführt. An der Stelle, wo der Kanal *l* die Wände des inneren Cylinders *b* schneidet, befinden sich wieder Saugventile *v* und Druckventile v_1. Bewegt sich mithin die Glocke abwärts, so wird durch *x* gesaugt, durch v_1 ausgeblasen; beim Aufgang hingegen erfolgt Saugen durch *v*, Blasen durch x_1. Die Glocken sind durch Leitstangen vertikal geführt. Zur Befestigung der Ventile dienen hölzerne gitterartige Rahmen, welche je 12 Oeffnungen von 10'' Höhe und 14'' Breite enthalten; auf diesen liegen die aus dünnem Blech bestehenden Klappen, deren Charnier und Dichtung durch Leder gebildet wird.

Ein Fehler dieser Anordnung ist der schädliche Raum, welcher, obgleich bei kleinem Spannungsunterschiede von geringem Einfluss, doch hier eine zu bedeutende Grösse erreicht, da beim tiefsten Stand der Glocke der ganze Schacht *b* mit dichterer Luft gefüllt ist.

4) Ventilation mittelst Wasser- und Dampfstrahlen.

Die zum Ansaugen der Luft nothwendige Depression kann auch hervorgebracht werden, indem man Wasser oder Dampf durch eine Röhre strömen lässt, an welcher sich Saugöffnungen befinden. Die Spannung im Innern der Röhre sinkt dabei um so tiefer, je grösser die Geschwindigkeit des Durchströmens ist, so dass durch die Saugöffnungen äussere Luft einströmt, vom Wasser oder Dampf mitgerissen wird und mit diesem gemengt am Ende der Röhre austritt.

In dieser Art, und zwar meist blasend, wirkt die Wassertrommel, deren gewöhnliche Einrichtung Fig. 39 darstellt. Darin bezeichnen *a* ein Gerinne, durch welches beständig Wasser zuströmt; *b* die Fallröhre, welche sich anfangs etwas verengt und dann plötzlich erweitert; die Verengung hat den Zweck, die Geschwindigkeit des Wassers zu erhöhen, daher seine Spannung herabzusetzen und die Luftmenge zu vergrössern, welche durch die Oeffnungen *o* (Schlucklöcher) einströmt. Die Fallröhre mündet in einen umgestürzten unten offenen Trog, die Trommel *t*, welche in eine gemauerte Grube oder in einen zweiten oben offenen Bottich auf ein Balkenkreuz gestellt wird. Unter der Mündung des Fallrohres befindet sich ein Brettstück *p*, die Brechbank, zuweilen flach kegelförmig gestaltet, auf welcher der herabfallende Wasserstrom zer-

stäubt, was die Abscheidung der mitgerissenen Luft begünstigt. Die letztere strömt in die am Deckel der Trommel *t* mündende Wetterlutte *l*, das Wasser hingegen unter dem Rande des Troges *t* in den äusseren Raum und von dort in einen Abflusskanal. Um die Menge des zuströmenden Wassers zu reguliren, dient ein Holzkegel *k*, der mittelst der Zugstange *s* gehoben oder gesenkt werden kann. Der Höhenunterschied der Wasserspiegel in und ausserhalb der Trommel misst die Spannung der Luft.

Soll der Apparat saugend wirken, so wird die Fallröhre an der Stelle, wo sich die Schlucklöcher befinden, mit einem blechernen oder hölzernen Behälter umgeben, in welchen die Wetterlutte mündet; das Wasser kann in diesem Falle direct in den Abflusskanal strömen, nur muss das Fallrohr gehörig gestützt werden.

Zum Betrieb der Wassertrommel ist also ein Wassergefälle nothwendig, welches mitunter künstlich erzeugt wird, indem man die Grubenwässer von der Wasserhaltungsmaschine um einige Klafter höher als bis zur Sohle des Abflussstollens heben lässt.

Die Wassertrommel ist unstreitig der einfachste Ventilationsapparat, der gar keine bewegten Theile enthält, fast ganz aus Holz und daher wohlfeil hergestellt werden kann. Mittelst derselben können Pressungen bis 16‴ Quecksilber oder 18″ Wasser ohne Nachtheil erzeugt werden. Hingegen ist sie zur Ventilation ganzer Grubenbaue nicht wohl anwendbar, weil dazu eine grössere Zahl Einfallröhren und eine bedeutende Wassermenge nothwendig wäre. Wenn ferner die Wasserkraft nicht ganz frei verfügbar ist oder erst künstlich beschafft werden muss, ist der geringe Wirkungsgrad ein Hinderniss gegen die Anwendung der Wassertrommel wenigstens für grössere Leistungen. Nach älteren Versuchen von d'Aubuisson beträgt nämlich deren Wirkungsgrad bis 0·15, nach neueren von Rittinger nicht mehr als zwischen 0·05 und 0·10. Endlich kann der Apparat nur an Orten aufgestellt werden, die keinem dauernden Froste ausgesetzt sind.

Ein zum Fürst Lobkowitz-Erbstollen bei Häring abgeteuftes Bohrloch wurde von Faller in nachstehender Art zur Ventilation des Erbstollens-Feldortes benützt.*) Auf das Bohrloch *d* Fig. 38 wurde ein 6° langes, bei *o* mit mehreren Oeffnungen versehenes Leitrohr *a* aufgesetzt, das untere Ende des 20° langen Bohrloches hingegen durch ein 6′ langes Rohr *b* mit der wie gewöhnlich ein-

*) Erfahrungen im berg- und hüttenmänn. Maschinen-, Bau- und Aufbereitungswesen von Rittinger, 1854, S. 21.

gerichteten Trommel verbunden und das Blaserohr der letzteren zum Feldorte geführt. Durch die Oeffnungen *o* liess man Wasser einströmen, welches die oben in das Leitrohr *a* eingetretene Luft in die Trommel schaffte. Auf diese Art gelang es, das Feldort bis auf 500° Entfernung ausreichend mit frischer Luft zu versehen, obschon die Wetterröhren nur den geringen Durchmesser von 3″ hatten.

Verwandt mit dieser Einrichtung der Ventilation ist die hie und da befolgte Praxis, den natürlichen Wetterzug durch in den Schacht einfallendes Wasser zu unterstützen, welches entweder durch einen Stollen abfliesst oder von einer Wasserhaltungsmaschine wieder gehoben wird. So lässt man z. B., wenn die Wetter im Wasserhaltungsschacht einziehen, einen Theil des von den Pumpen gehobenen Wassers in den Schacht zurückfallen. Hiebei ist es jedoch weniger die mechanische Wirkung des Wassers auf die Luft, als vorzüglich deren Abkühlung, welche den Wetterzug befördert. Da das hinabgefallene Wasser durch die Pumpe wieder gehoben werden muss, und die dazu nothwendige Arbeit im Vergleich zur erzielten Leistung sehr gross ist, soll dieses Mittel nur im Nothfalle, z. B. nach einer Explosion schlagender Wetter benützt werden.

Lässt man W a s s e r d a m p f in den unteren Theil des Schachtes strömen, durch den die Wetter ausziehen, so verstärkt wieder neben der mechanischen Einwirkung besonders die Temperaturerhöhung die Bewegung der Luft. Mit der Anwendung von Wetterherden verglichen, zeigt diese Ventilationsart den Vortheil, dass sie die Gefahr der Explosion schlagender Wetter vermeidet, hingegen erfordert sie mehr Brennmaterial. Wird der Dampf den ober Tags befindlichen Kesseln entnommen, so sinkt seine Spannung beim Durchströmen der langen Röhrenleitung und wird ein grosser Theil desselben condensirt; stellt man hingegen einen besonderen Kessel in der Grube auf, so bietet dessen Heizung wieder die Gefahr der Explosion, ist die Ableitung des Rauches schwierig und die Anlage kostspieliger als die eines Wetterherdes. Die Leistung ist geringer als bei Wettermaschinen; schon in früherer Zeit abgeführte Versuche haben constatirt, dass der Dampf, ob er nun zur Sohle des Wetterschachtes oder in die Esse eines ober Tags aufgestellten Wetterofens geleitet wird, bedeutend weniger leistet, als wenn er eine Ventilationsmaschine betreibt. Bei Kohlenbergbauen ist aber der Mehraufwand an Brennmaterial, daher auch der Dampfverlust oft von geringer Bedeutung, daher steht die Ventilation durch Dampfstrahlen thatsächlich bei mehreren Kohlengruben Englands in Anwendung. Eine Einrichtung derselben zeigt

Fig. 37.*) Am Sumpf des Wetterschachtes sind 18 Röhren *a* aus Zinkblech von 6′ Länge und 1′ Durchmesser eingemauert. Der vom Tag zugeführte Dampf strömt aus dem Rohre *b* durch Zweigröhren *c*, deren enge Mündungen 15″ von den Röhren *a* abstehen, in die letzteren. Die Dampfspannung ist nächst den Austrittsröhren beträchtlich kleiner als im Kessel, die erzeugte Depression gering.

Die Grube Seaton Delaval in Newcastle wird durch überhitzten Dampf von $2^1/_3$ Atmosphären Spannung ventilirt, der durch 25 Oeffnungen von $9{\cdot}5^{mm}$ Durchmesser ausströmt. Der Schacht ist 183_m tief und $2{\cdot}4^m$ weit, die Luftmenge 40 Cubik-Meter pr. Sekunde.**)

Statt durch Mauerung werden die Röhren *a* Fig. 37 auch durch hölzerne luftdichte Bühnen geführt, die im unteren Theile des Wetterschachtes angebracht sind.

Für vorübergehende Zwecke und geringere Leistung lässt sich die Ventilation durch Dampf zweckmässig in der Art ausführen, wie es durch Hrn. Franz Müller zu Javorzno geschah.***) Es handelte sich dort um Ventilation eines aus dem Maschinenschachte betriebenen Querschlages. Ueber das Ausblaserohr *a* Fig. 32 der Dampfmaschine wurde ein hölzerner einerseits offener Kasten *b* geschoben, und an denselben unten die Wetterlutte *c* angeschlossen. Durch das Ausströmen des Dampfes sinkt die Spannung in *b* und wird daher aus *c* Luft angesaugt.

Auf der Grube Neue Friedenshoffnung im Kupferberger Revier wurde ein 80 Lachter tiefer Schacht dadurch gut ventilirt, dass man den Dampf ober Tags in 8zöllige Wetterlutten, die vom Schachtsumpf bis über das Dach des Maschinenhauses reichten, einströmen liess.†)

Hieher kann endlich das Althans'sche Wasserstopfengebläse††) gerechnet werden, obschon das Wasser dabei nur durch sein Gewicht die Luft fortführt. Die Einrichtung eines solchen saugend wirkenden Gebläses zeigt Fig. 33. Darin ist *s* die Wetterlutte, *r* ein Reservoir, aus welchem durch abwechselnde Hebung und Senkung des hölzernen Ventiles *v* einzelne Wassermengen in die Abflussröhre *n* gelangen. Jede Wasserschicht schiebt eine entsprechende Luftmenge fort und saugt neue Luft aus *s* nach. Um das

---

*) Revue universelle des mines, 1860, 8. Bd. S. 27.

**) Revue universelle, 1857, 1. Bd. S. 412.

***) „Erfahrungen" von Rittinger, 1851.

†) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 17. Bd. S. 87.

††) Civilingenieur 1861, 7. Bd. S. 474.

Ventil *v* zu bewegen, ist an dasselbe ein hölzerner Rahmen *p* befestigt, der von drei an der Welle des kleinen Wasserrades *w* befestigten Daumen gehoben wird und hierauf durch sein eigenes Gewicht wieder herabsinkt; das vom Rad verbrauchte Wasser fliesst in das Reservoir *r*.

5) Schraubenventilatoren.

Wird eine schraubenförmig gewundene, an einer Spindel feste Platte im widerstehenden Mittel (Luft oder Wasser) um die Axe der Spindel gedreht, so schreitet sie in der Richtung der letzteren fort und bildet in dieser Anwendung den bewegenden Theil der Schraubenschiffe. Ist die Spindel in fixen Lagern drehbar, und bewegt sich das Medium parallel zur Axe, so wird die Schraube in Rotation versetzt; derartig erfolgt der Betrieb der Windmühlen und der Henschel-(Jonval-)Turbinen, deren Flügel oder Schaufeln nach Theilen von Schraubenflächen gekrümmt sind. Wenn endlich die in festen Lagern laufende Spindel von einer Kraftmaschine gedreht wird, so bewegt sie das Medium parallel zur Spindel fort; dies ist das Princip der Schraubenpumpen und Schraubenventilatoren.

Die Schraube muss bei den letzteren in ein rundes Gehäuse *g* Fig. 48 eingeschlossen werden. Setzt man das Gehäuse einerseits durch einen Kanal *s* mit der Wetterstrecke, anderseits mit der freien Luft in Verbindung, und dreht die Schraube derart, dass die vordere Kante *a b* sich abwärts bewegt, so wird jeder Lufttheil *n* gegen die Mündung des Gehäuses bewegt und der Apparat wirkt als saugender Grubenventilator. Dreht man die Spindel nach der anderen Seite, so wird die Maschine zu einer blasenden.

Die Fortschiebung der Lufttheile bewirkt, dass die Spannung beim Austritt von der Schraube grösser ist als beim Eintritt in dieselbe. Die Erhöhung der Spannung ist am Umfange der Schraube grösser als in der Nähe der Axe, weil die Lufttheile nebst der Bewegung parallel zur Axe eine von der Flügelform abhängige rotirende Bewegung erhalten, und in Folge der Trägheit nach Aussen gedrängt werden. Die Spannung nächst der Axe ist daher so gering, dass Luft aus dem Blase- in den Saugraum zurückströmt. Dieser Uebelstand wird herabgesetzt, wenn die Schraube eine Spindel von grösserem Durchmesser erhält; der Vorschlag, die Construction in dieser Art zu verbessern, stammt von Combes.

Bei grösserer Steigung des Schraubenganges wird ferner das Rad, parallel zur Axe gemessen, zu breit, wenn die Schrauben-

fläche eine ganze Windung oder deren mehrere erhält. Es genügen dann Flügel oder Schaufeln, die blos Theile einer Schraubenfläche darstellen, und in hinreichender Zahl längs des Umfanges der Spindel anzuordnen sind, damit sie alle Lufttheile in möglichst gleichartige Bewegung setzen.

Durch diese Modificationen erhält der bewegte Theil des Ventilators ähnlich dem Laufrad einer Turbine, die in der Ansicht Fig. 54 und im Schnitt durch die Axe Fig. 53 dargestellte Form. Darin ist a eine Scheibe, welche mittelst Nabe auf der Welle s befestigt wird und an deren Rande sich die cylindrische Wand c befindet; diese stellt die Spindel dar, an deren Aussenseite die Flügel sich anschliessen; Fig. 47 ist ein Theil der Seitenansicht, worin die äusseren Ränder mn der Flügel erscheinen.

Die Berechnung eines solchen saugend wirkenden Apparates lässt sich ähnlich durchführen wie die der Centrifugalventilatoren. Was zuerst die Radhalbmesser R und r Fig. 53 betrifft, so strömt die Luft aus dem Saugrohre mit einer gewissen Geschwindigkeit U_0 parallel zur Axe des Rades dem letzteren zu; ist daher m die entsprechende Luftmenge pr. Sekunde, so wird

$$m = (R^2 - r^2)\,\pi\, U_0$$

und wenn man den kleineren Radhalbmesser

$$(1) \quad \ldots\ldots\ldots \quad r = \varphi R$$

setzt,

$$m = (1 - \varphi^2)\, R^2\, \pi\, U_0.$$

Hieraus folgt der grössere Radhalbmesser

$$(2) \quad \ldots\ldots \quad R = \sqrt{\frac{m}{(1-\varphi^2)\,\pi\, U_0}},$$

in welcher Gleichung, um R berechnen zu können, φ und U_0 zu wählen sind.

Es seien ferner Fig. 55 AB und CD zwei benachbarte Flügel in einem durch die Mitte der radialen Flügeldimension geführten cylindrischen Schnitte. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft an der Seite AC in das Rad eintritt, sei U_1; soll der Eintritt ohne Stoss erfolgen, so darf dabei keine Geschwindigkeits- und Richtungsänderung der Luft stattfinden, es muss daher $U_1 = U_0$ und U_1 wie U_0 parallel zur Axe des Rades, mithin senkrecht gegen AC gerichtet sein. Die Geschwindigkeit $U_1 = U_0$ lässt sich in die Peripheriegeschwindigkeit v und in die relative u_1, deren Richtung den Flügel CD im Punkte C berührt, zerlegen. Bezeichnet α_1 den Winkel, den u_1, also auch die Tangente des ersten Flügelelementes mit AC einschliesst, so ergibt sich aus der Figur

(3) . . . . $tang\, \alpha_1 = \frac{U_0}{v}$,

durch welche Gleichung die Richtung des ersten Flügelelementes bestimmt ist. Der Werth von v wird unten berechnet. Sei ferner n die Zahl Umgänge des Rades pr. Minute, so ist der Weg, den die Flügelschnitte AB oder CD pr. Minute zurücklegen,

$$60\, v = 2\, \frac{R + r}{2}\, \pi\, n = (1 + \varphi)\, R\, \pi\, n.$$

Hieraus folgt die Zahl Umgänge pr. Minute

(4) . . . . $n = \frac{60}{\pi\,(1 + \varphi)}\, \frac{v}{R}$.

Zur weiteren Berechnung ist die Grundgleichung für die Bewegung der Luft nothwendig. Die Flügel schliessen Kanäle zwischen sich ein, deren radiale Breite constant und dem Unterschied des äusseren und inneren Halbmessers R und r der Flügel gleich ist. Wenn $R - r$ im Vergleich zum mittleren Halbmesser $\frac{R + r}{2}$ nicht gross ist, darf rücksichtlich der Bewegung der Luft durch die Kanäle angenommen werden, dass die in einer beliebigen auf die Kanalaxe senkrechten Schicht enthaltenen Lufttheile durchaus gleiche, und zwar diejenige Spannung und Geschwindigkeit besitzen, welche in der mittleren Entfernung $\frac{R + r}{2}$ von der Axe vorhanden ist. Sei nun an einem beliebigen in dieser Entfernung befindlichen Punkte h_x die Pressungshöhe, u die längs der Kanalaxe gerichtete (relative) Geschwindigkeit, δ das specifische Gewicht der Luft, w die Umfangsgeschwindigkeit des Rades, so gilt unter der obigen Voraussetzung bei Vernachlässigung der Nebenhindernisse und des Gewichtes der Luft die Näherungsgleichung

$$h_x = \frac{\delta}{2\, g\, \gamma}\,(w^2 - u^2) + Const.,$$

worin noch g die Acceleration der Schwere und γ das specifische Gewicht der Flüssigkeit bedeuten, mit welcher das die Höhe h_x zeigende Manometer gefüllt ist.

Die obige Formel gilt auch für die Bewegung durch ein ruhendes Rohr; dann ist u zugleich die absolute Geschwindigkeit und $w = o$. Diese Formel ist ferner für einen Kanal entwickelt, dessen Querschnittsmittelpunkte in verschiedener Entfernung von der Drehungsaxe liegen, daher verschiedene Umfangsgeschwindigkeiten w besitzen. Da jene Entfernung im vorliegenden Falle constant =

$\frac{R+r}{2}$ ist, so ist auch w constant und kann die Gleichung in der Form

$$(5) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad h_x = -\frac{\delta}{2\,g\,\gamma} u^2 + C$$

geschrieben werden, worin C eine andere Constante bedeutet.

Bezeichnet h_1 die Pressungshöhe, δ das specifische Gewicht der Luft beim Eintritt in das Flügelrad, so ist nach (5)

$$h_1 = -\frac{\delta}{2\,g\,\gamma} u_1^2 + C.$$

Wegen der geringen Spannungsunterschiede, welche bei Grubenventilatoren vorkommen, kann das specifische Gewicht der Luft auf dem ganzen Wege durch den Flügelraum als constant $= \delta$ angenommen werden; ist daher h_2 die Spannungshöhe, u_2 die relative Geschwindigkeit der Luft beim Austritt aus dem Rad, so wird analog wie oben

$$h_2 = -\frac{\delta}{2\,g\,\gamma} u_2^2 + C,$$

und zieht man die vorige von dieser Gleichung ab, so folgt

$$(6) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad h_2 - h_1 = \frac{\delta}{2\,g\,\gamma} (u_1^2 - u_2^2).$$

Aus dem Geschwindigkeitsdreieck Fig. 55 folgt nun

$$(7) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad u_1^2 = U_0^2 + v^2;$$

die Geschwindigkeit u_2 hingegen lässt sich auf folgende Art ermitteln. Es sei α_2 der Winkel der Tangente, welche die Flügelcurve im Endpunkte D berührt, gegen $B\,D$. Der Querschnitt des Luftstromes, der aus jedem Kanal austritt, ist das Product aus der senkrecht gegen u_2 gezogenen Linie $D\,E$ in die Breite $R - r$ des Flügelraumes; mithin die pr. Sekunde aus einem Kanal strömende Luftmenge

$$\overline{D\,E}\,(R - r)\,u_2 = \overline{B\,D}\,(R - r)\,u_2 \sin \alpha_2.$$

Um hiernach die Luftmenge m auszudrücken, welche pr. Sekunde aus dem ganzen Rade strömt, hat man statt der Fläche $\overline{B\,D}\,(R - r)$ einer Kanalmündung den ganzen zur Drehungsaxe senkrechten Querschnitt $(R^2 - r^2)\,\pi$ des Flügelraumes einzusetzen, und erhält dadurch

$$m = (R^2 - r^2)\,\pi\,u_2 \sin \alpha_2.$$

Andererseits ist, da die Luft mit der absoluten Geschwindigkeit U_0 parallel zur Axe des Rades in das letztere einströmt,

$$m = (R^2 - r^2)\,\pi\,U_0,$$

und aus dem Vergleiche beider Ausdrücke folgt

$$u_2 \sin \alpha_2 = U_0,$$

(8) . . . . $u_2 = \frac{U_0}{\sin \alpha_2}$.

Substituirt man (7) und (8) in (6), so ergibt sich

$$h_2 - h_1 = \frac{\delta}{2 g \gamma} \left(U_0^2 + v^2 - \frac{U_0^2}{\sin \alpha_2^2} \right) \text{ oder}$$

(9) . . . . . $h_2 - h_1 = \frac{\delta}{2 g \gamma} (v^2 - U_0^2 \cot \alpha_2^2)$.

In dieser Gleichung ist die zu erzeugende Spannungsdifferenz $h_2 - h_1$ gegeben, und die Geschwindigkeit U_0 wird gewählt; dagegen sind v und α_2 unbekannt. Die Gleichung (9) ist daher unbestimmt, und die Aufstellung noch einer Bedingung für die vortheilhafteste Wirkung des Apparates zulässig. So kann entweder angenommen werden, dass die Umfangsgeschwindigkeit v oder die absolute Austrittsgeschwindigkeit U_2 möglichst gering ausfalle. Ersteres ist vortheilhaft, weil dabei die Umgangszahl gering, letzteres, weil die lebendige Kraft der in's Freie ausströmenden Luft, daher der entsprechende Effectsverlust kleiner wird.

1) Die absolute Austrittsgeschwindigkeit U_2 erhält ihren geringsten Werth, wenn sie parallel zur Drehungsaxe gerichtet ist, d. h. wenn der Winkel β_1 Fig. 55, den U_2 mit der Radebene einschliesst, gleich 90^0 ist; denn dann wird der Querschnitt des austretenden Luftstromes gleich $(R^2 - r^2)\pi$, bei jeder anderen Richtung dagegen kleiner. Da nun auch der in das Rad eintretende Luftstrom den obigen Querschnitt besitzt, so sind unter dieser Annahme offenbar die absolute Ein- und Austrittsgeschwindigkeit U_0 und U_2 gleich. Zerlegt man U_2 in die Peripheriegeschwindigkeit v und die relative Geschwindigkeit u_2, so erscheinen für $\beta_1 = 90^0$ in den Geschwindigkeitsdreiecken an der Ein- und Austrittsseite die gleichen Katheten v und $U_2 = U_0$, diese Dreiecke sind daher congruent und mithin auch $\alpha_2 = \alpha_1$ und $u_2 = u_1$. Für den cylindrischen Flügelschnitt CD ergibt sich daher die Form einer Schraubenlinie mit constanter Steigung, und die Luft bewegt sich auf ihrem Wege durch das Rad stets parallel zur Axe. Allein dabei wird nach (6) wegen $u_2 = u_1$

$$h_2 - h_1 = 0,\ h_2 = h_1,$$

d. h. der Ventilator bringt auch keinen Pressungsunterschied hervor. Der Zustand der Luft bleibt mithin beim Durchgange durch das Rad ganz ungeändert, die Flügel wirken gar nicht auf die Luft ein. Dieser Fall lässt sich durch die ideale Skizze Fig. 49 darstellen, wobei die Ein- und Austrittsseite des Ventilatorrades v durch ein

Rohr R in Verbindung gesetzt sind; wird der Luft im Rohre R eine beliebige, und dem Rade jene Geschwindigkeit ertheilt, bei welcher die Luft ohne Stoss in dasselbe eintritt, so würde die Luftströmung, wenn sie keine Nebenhindernisse zu überwinden hätte, ununterbrochen fortdauern, die Kraftmaschine blos die Nebenwiderstände gegen die Drehung des Rades v zu bewältigen haben. Da aber der Bewegung der Luft die Reibung entgegenwirkt, wird ihre Geschwindigkeit abnehmen, daher bei gleichbleibender Umfangsgeschwindigkeit des Rades die Luft beim Eintritt in dasselbe einen Stoss, d. h. eine plötzliche Geschwindigkeits- und Pressungsänderung erleiden, und der Beharrungszustand erst eintreten, bis die Wirkung dieses Stosses so gross geworden ist, dass sie die durch die Nebenhindernisse verloren gehende lebendige Kraft ersetzt.

Aehnlich wirkt nun der Apparat, wenn er als saugende Wettermaschine benützt wird, wobei das Verbindungsrohr R wegfällt, daher nebst der durch die Reibung consumirten noch die der Geschwindigkeit der Luft entsprechende Arbeit zu ersetzen ist, welche beim Austritt von der Maschine verloren geht. In der That sind Schraubenventilatoren von der beschriebenen Construction aufgestellt. Bei Berechnung derselben wäre der Stoss beim Eintritt der Luft in das Rad zu berücksichtigen. Die Berechnung wird jedoch hier übergangen, weil die anderen Arten der Schraubenventilatoren einen höheren Wirkungsgrad ergeben, eine kleinere Umfangsgeschwindigkeit verlangen und die Austrittsgeschwindigkeit der Luft ebenfalls bis auf U_0 oder noch weiter herabzusetzen gestatten.

2) Die Construction, für welche die Umfangsgeschwindigkeit v ein Minimum wird, ergibt sich auf folgende Art. Es sei h die Depression (negative Manometerhöhe) unmittelbar vor dem Eintritt der Luft in das Flügelrad, so kann mit Ausserachtlassung des beim Eintritt stattfindenden Effectsverlustes

$$h_1 = - h$$

gesetzt werden. Strömt ferner die Luft aus dem Ventilator direct in's Freie, so ist

$$h_2 = 0.$$

Setzt man diese Werthe in die Gleichung (9), so wird

$$h = \frac{\delta}{2 g \gamma} (v^2 - U_0^2 \cot \alpha_2^2).$$

Da in dieser Gleichung ausser v und α_2 Alles gegeben ist, so folgt aus derselben, dass v am kleinsten wird, wenn $\cot \alpha_2 = 0$ oder $\alpha_2 = 90^0$ ist. Für $\alpha_2 = \alpha_1$ erhalten nun die Austrittsgeschwindigkeit U_2 und der entsprechende Effectsverlust die geringsten, daher

für $\alpha_2 = 90^0$ jedenfalls grössere Werthe. Diesem Nachtheile wird durch Anordnung eines festen Leitrades begegnet, dessen Flügel BF und DG Fig. 55 derart gekrümmt sind, dass ihre ersten Elemente bei B und D mit der absoluten Austrittsgeschwindigkeit U_2 gleiche Richtung besitzen, daher der Eintritt der Luft in das Leitrad ohne Stoss erfolgt, während die letzten Elemente F und G senkrecht zur Radebene stehen, so dass die Luft parallel zur Axe des Rades, daher mit der geringsten Geschwindigkeit U_0 austritt, vorausgesetzt, dass der Flügelraum des Leitrades denselben Querschnitt $(R^2 - r^2)\pi$ besitzt, wie der des Laufrades. Die entsprechende Verminderung des Effectsverlustes äussert sich dadurch, dass die Pressungshöhe h_2 beim Austritt nun kleiner wird als früher. Denn für die ruhenden Kanäle des Leitrades gilt dieselbe Gleichung (5)

$$h_x = -\frac{\delta}{2g\gamma}u^2 + C,$$

wie für die bewegten des Ventilatorrades, nur besitzt die Constante C für beide Fälle verschiedene Werthe. Beim Eintritt in das Leitrad ist nun

$$h_x = h_2, \quad u = U_2, \text{ daher}$$

$$h_2 = -\frac{\delta}{2g\gamma}U_2^2 + C;$$

beim Austritt aus demselben $h_x = 0$ und $u = U_0$, daher

$$0 = -\frac{\delta}{2g\gamma}U_0^2 + C;$$

durch Abziehen dieser Gleichung von der obigen folgt

$$(10) \quad \ldots\ldots \quad h_2 = -\frac{\delta}{2g\gamma}(U_2^2 - U_0^2);$$

da $U_2 > U_0$ ist, wird nun h_2 negativ, während ohne Leitrad $h_2 = 0$ ist. Aus Fig. 55 folgt

$$U_2^2 = u_2^2 + v^2 - 2u_2 v \cos\alpha_2,$$

und wegen (8) wird

$$U_2^2 - U_0^2 = \frac{U_0^2}{\sin\alpha_2^2} - U_0^2 + v^2 - 2U_0 v \cot\alpha_2.$$

Führt man diesen Werth in (10) ein, so ergibt sich

$$h_2 = -\frac{\delta}{2g\gamma}(v^2 + U_0^2\cot\alpha_2^2 - 2U_0 v\cot\alpha_2),$$

und durch Substitution dieses Werthes in (9) erhält man, wenn man wieder $h_1 = -h$ setzt

$$(11) \quad \ldots\ldots \quad h = \frac{\delta}{g\gamma}(v^2 - U_0 v\cot\alpha_2).$$

Hieraus folgt

$$v = \frac{U_0 \cot \alpha_2}{2} + \sqrt{\frac{U_0^2 \cot \alpha_2^2}{4} + \frac{g\gamma}{\delta} h.}$$

Die Umfangsgeschwindigkeit v wird nun wieder am geringsten für $\cot \alpha_2 = 0$ oder $\alpha_2 = 90^0$, d. h. wenn die Flügelenden radial auslaufen. Zwar könnte auch $\alpha_2 > 90^0$ genommen werden, wodurch $\cot \alpha_2$ negativ wird und v noch weiter sinkt. Allein dabei wird $\sin \alpha_2$ kleiner und daher nach (8) u_2 grösser; sowie auch U_2, wovon man sich überzeugt, wenn man U_2 durch v allein ausdrückt; es wachsen daher die Widerstände gegen die Bewegung der Luft durch das Flügelrad.

Behält man also den Werth

$$\alpha_2 = 90^0$$

bei, so folgt

$$(12) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad v = \sqrt{\frac{g\gamma}{\delta} h.}$$

Die Radhalbmesser R und r, die Umgangszahl n und der Winkel α_1 des ersten Flügelelementes gegen die Radebene ergeben sich nach den Formeln (1) bis (4). Die Radbreite b, parallel zur Axe gemessen, soll nicht zu gering sein, damit die Geschwindigkeitsänderung der Luft nicht auf einem zu kurzen Wege erfolgen muss. Man kann etwa

$$(13) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad b = \frac{R}{2}$$

setzen. Für die Winkel β_1 und β_2, unter welchen die ersten und letzten Elemente der Leitflügel gegen die Radebene geneigt sind, hat man erstlich

$$\beta_2 = 90^0;$$

da ferner $\alpha_2 = 90^0$, so wird Fig. 55 das Geschwindigkeitsdreieck mit den Seiten v, u_2, U_2 rechtwinklig und ergibt sich aus demselben

$$v = u_2 \tang (90 - \beta_1) = u_2 \cot \beta_1,$$

$$\tang \beta_1 = \frac{u_2}{v}.$$

Wegen $\alpha_2 = 90^0$ wird nach (8)

$$u_2 = U_0$$

$$\tang \beta_1 = \frac{U_0}{v},$$

mithin wegen (3)

$$\tang \beta_1 = \tang \alpha_1$$

$$\beta_1 = \alpha_1.$$

Die zur Axe parallele Breite b_1 des Leitrades kann, weil darin dieselbe Geschwindigkeitsänderung wie im Laufrad stattfindet,

(14) . . . . $b_1 = \frac{R}{2}$

gesetzt werden.

Der Effectsverlust, welcher dadurch entsteht, dass die Luft mit der Geschwindigkeit U_0 vom Leitrad ausströmt, ist gleich der lebendigen Kraft der pr. Sekunde ausströmenden Luftmenge, also gleich

$$m\,\delta\,\frac{U_0^2}{2\,g}.$$

Bezeichnet man das Verhältniss dieses Verlustes zum reinen Effect $E = m\,h\,\gamma$ des Ventilators mit e, so wird

(15) . . . . . $e = \frac{m\,\delta}{m\,h\gamma} \cdot \frac{U_0^2}{2\,g} = \frac{\delta\,U_0^2}{2\,g\,\gamma\,h}.$

Was die in den entwickelten Formeln enthaltenen zu wählenden Grössen betrifft, so ist ein kleiner Werth des Verhältnisses φ zwischen dem inneren und äusseren Radhalbmesser vortheilhaft, weil dabei nach (2) R kleiner wird; hingegen steigt dann die Umgangszahl und der Unterschied der Spannungen an der inneren und äusseren Flügelperipherie. Man kann etwa $\varphi = \frac{2}{3}$ setzen. Ist die manometrische Flüssigkeit Wasser, so wird $\gamma = 1000$ Kilogr.; das specifische Gewicht δ ist im Mittel gleich 1·25 Kilogr. und $g =$ 9·8088^m zu setzen. Führt man diese Werthe ein, so ergeben sich aus (2), (1), (12), (4), (3), (13), (14) und (15) die folgenden vereinfachten Ausdrücke für französisches Maass:

$$R = 0{\cdot}76\sqrt{\frac{m}{U_0}}$$

$$r = \frac{2}{3}R$$

$$v = 88{\cdot}5\sqrt{h}$$

$$n = 11{\cdot}46\,\frac{v}{R}$$

$$tang\,\alpha_1 = tang\,\beta_1 = \frac{U_0}{v}$$

$$\alpha_2 = \beta_2 = 90^0$$

$$b = b_1 = \frac{R}{2}$$

$$e = \frac{U_0^2}{15700\,h}.$$

Um die Berechnung durchführen zu können, muss noch U_0 gewählt werden. Ist U_0 klein, so ergibt sich der Radhalbmesser R gross, dafür sinkt die Umgangszahl n und der Effectsverlust e, welcher sonst

bei geringer Depression h hoch steigen kann. Jedenfalls sollte U_0 nicht grösser als 10^m genommen werden, da sonst auch die Reibung der Luft an den Flügelwänden den Effect zu sehr herabsetzt.

Die Umfangsgeschwindigkeit v wird in der Ausführung, um die gewünschte Depression h zu erlangen, über den berechneten Werth gesteigert werden müssen. Die Ursache davon ist der Verlust an effectiver Druckhöhe, welcher durch die Reibung der Luft an den Kanalwänden, durch den Stoss gegen die Flügelenden und durch Wirbelbildung entsteht. Die nothwendige Steigerung v scheint bei den Rittinger'schen Ventilatoren (s. unten) bei abnehmendem Spannungsunterschied h zu wachsen; nimmt man dieselbe für $h = 0{\cdot}04$ bis $0{\cdot}08^m$ etwa gleich 50% an, so werden dadurch v und n auf das 1·5fache erhöht, $tang\ \alpha_1$ und $tang\ \beta_1$ auf $^2/_3$ des theoretischen Werthes verkleinert.

Die Dicke δ der Leit- und Radflügel kann, wenn dieselben mit den zugehörigen Rädern aus einem Stück gegossen sind, für $R = 0{\cdot}35$ bis $1{\cdot}4^m$

$$\delta = \frac{R}{70}$$

gesetzt werden. Die Zahl der Flügel muss gross genug sein, dass die Luft beim Durchgange durch die Radkanäle gehörig geleitet wird; doch sollen letztere nirgends eine zu geringe Weite erhalten, weil sonst der Guss erschwert und die Querschnittsverengung durch die Schaufeldicke zu gross wird. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Weite der Radkanäle mit α_1 abnimmt, und dass sie am inneren Umfange des Rades kleiner ist als am mittleren. Da die Leit- und Radkanäle dieselbe Form besitzen, kann die Zahl z Flügel beim Leit- und Laufrad gleich gross genommen werden, und zwar kann man für die obigen Werthe $R = 0{\cdot}35$ bis $1{\cdot}4^m$ und

$$r = \frac{2}{3} R = 0{\cdot}233 \text{ bis } 0{\cdot}933^m,$$

bei $sin\ \alpha_1 =$	0·25	0·50	0·75
$z =$	12	18	24

setzen. Die Flügel sollen an den Enden zugeschärft werden, damit sie der Luftbewegung ein geringeres Hinderniss entgegensetzen.

Die Krümmung der Flügel ist eine beliebige, nur muss dieselbe eine allmälige sein, damit plötzliche Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen der Luft vermieden werden. Die einfachste ist die Kreisform.

Es scheint zwar auf den ersten Anblick eine Complication der Ausführung, dass man die absolute Geschwindigkeit U_0 der Luft auf

die weit höhere U_2 steigert, um sie nachher durch das Leitrad wieder auf U_0 herabzusetzen; doch werden die damit verbundenen Uebelstände durch die Vortheile einer geringen Umfangsgeschwindigkeit überwogen, welche unten bei den Centrifugalventilatoren auseinandergesetzt sind.

Zur Erhöhung des Wirkungsgrades kann übrigens eine weitere Einrichtung getroffen werden. Die Luft strömt dem Rade a Fig. 53 durch das Saugrohr zu, dessen Querschnitt bedeutend grösser ist, als der ringförmige des Flügelraumes; vor dem Eintritt in den letzteren muss daher eine Wirbelbildung stattfinden, welche den Effect herabsetzt. Diesem Nachtheile wird begegnet, indem man einen Einlaufkegel k im Saugrohre befestigt, welcher derart geformt ist, dass die Geschwindigkeit der zuströmenden Luft allmälig auf U_0 gesteigert wird.

Der Einlaufkegel erfüllt seinen Zweck, wenn seine Wände eine continuirliche Krümmung erhalten. Diese lässt sich auf theoretischem Wege bestimmen. Man kann festsetzen, dass die Aenderung der Luftgeschwindigkeit nach einem bestimmten Gesetze erfolgen, dass z. B. die Zunahme der Geschwindigkeit oder die der lebendigen Kraft dem Weg proportional sein solle. Dadurch wird man indessen auf parabelartige Querschnittsformen geführt, wobei die Lufttheile, welche den abgestumpften Theil des Einlaufkegels treffen, eine zu starke Richtungsänderung erleiden. Es ist daher zweckmässiger, die Abstumpfung durch eine Spitze zu ersetzen. Die Geschwindigkeitsänderung der Luft erfolgt um so allmäliger, je grösser die Länge des Kegels ist; eine Länge gleich $2\,R$ dürfte indessen genügen.

Endlich kann man den Flügelraum des Leitrades nach Aussen erweitern, um die Austrittsgeschwindigkeit und den damit verbundenen Effectsverlust herabzusetzen. Diese Erweiterung liesse sich beliebig weit treiben, wenn man zugleich die Breite b_1 des Leitrades vergrössert, doch scheint es nicht angezeigt, die letztere Dimension über $0{\cdot}5\,R$ zu steigern. Die Verminderung der Austrittsgeschwindigkeit hat zur Folge, dass h_2 einen kleineren numerischen Werth als nach (10) erhält; doch erleiden die Resultate der obigen Berechnung dadurch nur eine geringe Abänderung, welche vernachlässigt werden kann.

Noch wäre zu bemerken, dass in der Regel nicht die Pressungshöhe $-h$, welche die Luft beim Eintritt in das Laufrad besitzen soll, sondern die Pressungshöhe $-h_s$ an irgend einer Stelle des Saugkanales, sowie die Geschwindigkeit U_s, welche die Luft an dieser Stelle besitzen soll, gegeben sein wird. Man erhält dann aus

der allgemeinen Bewegungsgleichung (5, welche auch für den ruhenden Saugkanal gilt, analog zu (6)

$$(16) \quad . \quad . \quad h - h_s = \frac{\delta}{2\,g\,\gamma}\,(U_0^2 - U_s^2) = \frac{U_0^2 - U_s^2}{15700},$$

aus welcher Gleichung der Werth h berechnet werden kann, welcher sich mitunter merklich verschieden von h_s ergibt, und bei der Berechnung des Ventilators einzuführen ist.

Es sei z. B. eine Windmenge $m = 8{\cdot}75$ Cubik-Meter zu liefern und die Depression $h = 0{\cdot}04$ Meter Wasser beim Eintritt in's Flügelrad zu erzielen. Nimmt man $U_0 = 10^m$, so ergibt sich

$$R = 0{\cdot}710^m,\ r = 0{\cdot}473^m$$
$$v = 17{\cdot}7^m,\ n = 286$$
$$tang\,\alpha_1 = 0{\cdot}565,\ \alpha_1 = \beta_1 = 29^0\,30'$$
$$e = 0{\cdot}16$$
$$b = b_1 = 0{\cdot}355^m.$$

Der Effectsverlust e ist daher schon ziemlich bedeutend, kann jedoch durch Erweiterung des Leitrades herabgesetzt werden.

Nimmt man v um 50 % grösser, so wird

$$v = 26{\cdot}5^m,\ n = 429$$
$$tang\,\alpha_1 = 0{\cdot}377,\ \alpha_1 = \beta_1 = 20^0\,40'.$$

Die Schaufeldicke wird

$$\delta = 0{\cdot}01^m.$$

Ferner ist $sin\,\alpha_1 = 0{\cdot}3529$ und man kann

$$z = 18$$

setzen.

Der ganze Querschnitt des Saugrohres ist nächst dem Rade $\overline{0{\cdot}71}^2 . 3{\cdot}142 = 1{\cdot}583$ Quadratmeter. Soll derselbe bis auf 4 Quadratmeter erweitert werden, so ist am Ende des Rohres die Geschwindigkeit der Luft $U_s = \frac{8.75}{4} = 2{\cdot}19$ M., und ebendort nach (16) die Depression

$$h_s = 0{\cdot}04 - \frac{\overline{10}^2 - \overline{2{\cdot}19}^2}{15700} = 0{\cdot}034^m,$$

also merklich kleiner als $0{\cdot}04^m$.

Ueber die Kraftmaschine zum Betrieb gilt das bei Centrifugalventilatoren Gesagte. Durch Verminderung der Geschwindigkeit U_0 lässt sich der Halbmesser beliebig vergrössern, daher die Umgangszahl n so weit herabsetzen, dass der Betrieb durch eine Dampfmaschine ohne Transmission erfolgen kann.

Einen nach den angedeuteten Grundsätzen entworfenen Ventilator von den Dimensionen, welche im obigen Beispiele für die 1·5fache theoretische Umfangsgeschwindigkeit v berechnet wurden, zeigen Fig. 44 in der Ansicht und Fig. 46 im Vertikalschnitte. Darin sind a das Lauf-, b das Leitrad, c die Flügel des ersteren und d die des letzteren; k der Einlaufkegel, r die zum Betrieb dienende Riemen-

rolle, *l* und *m* die beiden Lager der Welle, wovon *l* auf einem an das Leitrad angegossenen Träger, *m* sowie das Leitrad selbst zwischen Nasen der Grundplatte *p* verkeilt sind. Das Laufrad bewegt sich innerhalb des ausgebohrten Cylinders *n*, welcher die Fortsetzung des das Leitrad umgebenden Mantels bildet und in die cylindrische Mündung des gemauerten Saugkanales eingeschoben ist. Rings um das Leitrad läuft die Flansche *f*; die Fuge zwischen derselben und der Mauer ist mit Kitt oder Cement zu dichten. Der Einlaufkegel *k*, der auch aus Blech bestehen kann, wird beiderseits durch je zwei daran befestigte oder angegossene Platten *q*, welche in das Mauerwerk des Saugkanales eingreifen, gestützt. Auch kann man den Kegel *k* auf einem unten angegossenen Ständer ruhen lassen, nur sind diese Theile so zu construiren, dass sie die Bewegung der Luft möglichst wenig hindern. Fig. 45 zeigt die Grundplatte *p*.

Soll die Abnützung der Lagerschalen geringer werden, so müssen dieselben eine grössere Länge erhalten; auch kann man an der dem Laufrad zugekehrten Seite des Lagers *l* die Kränze der Lagerschalen, an der anderen Seite die Verstärkung der Welle weglassen, um die untere Lagerschale leicht auszuwechseln; dann wäre ähnlich, wie beim Rittinger'schen Centrifugalventilator, eine Vorrichtung anzubringen, mittelst welcher die Axe horizontal verschoben und festgestellt werden kann.

Bei grossem Durchmesser erscheint es zweckmässig, das Laufrad oder wenigstens dessen Flügel aus Blech zu fertigen, um das freie Ende der Welle weniger zu belasten. Die Flügel sind dann durch zwei aussen angenietete ringsumlaufende Schienen zu verstärken. Auch lässt sich das Lager *l* auf die andere Seite des Laufrades, in den Einlaufkegel verlegen, wobei nur der Vortheil verloren geht, dass beide Lager der Welle auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte ruhen.

Die Schraubenventilatoren nach Art der Jonvalturbinen, mit ruhenden Leiträdern construirt, sind eine Erfindung des Professors Heger in Wien, und es stehen mehrere derartige Ventilatoren im Betrieb, doch ist nichts Näheres über deren Construction oder über Versuche mit denselben veröffentlicht.*) Einen zur Ventilation von öffentlichen Gebäuden bestimmten Heger'schen Ventilator zeigt Fig. 51. Bei demselben ist der Einlaufkegel *a* am Flügelrad *b* fest

*) Ueber Heger'sche Ventilatoren sind publicirt: ein Aufsatz in den Verhandlungen des österr. Gewerbevereins 1862, S. 359, vom Oberst Libert de Paradis; die Skizze Fig. 51 in den Mittheilungen über die Londoner Ausstellung 1862, S. 73, von Rittinger; Bemerkungen von Gustav Schmidt in der Zeitschrift des Oesterr. Ingenieurvereines 1865, S. 202 und 1870, S. 21.

und rotirt mit demselben; an den Kegel schliesst sich die zum Betrieb dienende Riemenrolle *o*, deren Riemen durch zwei im Saugrohr *s* angebrachte Schlitze gehen. An das Leitrad *c* schliesst sich der Auslaufkegel *d*, der im Blaserohr *e* liegt. Die Lager für die Welle *w* der drehbaren Theile *a b o* befinden sich an der Spitze des Auslaufkegels *d*, und an dem im Saugrohr festen Kreuz *f*. Das Leitrad kann auch an der entgegengesetzten Seite des Laufrades angebracht werden, und der allgemeinste Fall der Heger'schen Ventilatorconstruction ist der eines Laufrades mit zwei Leiträdern zu beiden Seiten. Selbstverständlich erfordern beide Modificationen eine geänderte Schaufelform; sie scheinen indessen keine Vortheile darzubieten, da die Anwendung zweier Leiträder den Apparat complicirter macht, bei der Anordnung Fig. 52 jedoch, wo die Luft zuerst das feste Leitrad *a*, dann das Laufrad *b* passirt, die Flügel des letzteren eine geringe Krümmung erhalten und daher wieder mehr durch Stoss wirken. Für diese Construction würde nur der Umstand sprechen, dass bei der Anstellung nach Fig. 44 und 46 das Laufrad nicht am freien Ende der Welle zu liegen käme. Nach Versuchen soll der Heger'sche Ventilator einen Wirkungsgrad von 0·55 ergeben haben, daher in dieser Hinsicht die Centrifugalventilatoren bedeutend übertreffen.

Zu der anderen Art von Schraubenventilatoren, wo die Austrittsgeschwindigkeit durch schwache Krümmung der Flügel, statt durch Anwendung eines Leitrades, herabgesetzt wird, gehört die pneumatische Schraube von Motte, welche zwei Flügel aus Blech enthält, deren jeder einen ganzen Schraubengang einnimmt, dessen Höhe gleich dem Durchmesser ist. Fig. 63 zeigt eine nach Combes' Vorschlag mit einer Spindel *k* von grösserem Durchmesser versehene Schraube mit nur einem Flügel.

Bei den Ventilatoren von Lesoinne sind statt Schraubenflächen von einem oder mehr Umgängen nur einzelne Flügel angeordnet. Ein solcher Ventilator wurde auf der Grube Grand Bac bei Lüttich aufgestellt; die Einrichtung desselben zeigen Fig. 66 und 67.*) Das Rad besteht aus einer Nabe und einem Kranz, durch Speichen verbunden, an welchen die Flügel *f* festgenietet sind; die freien Enden derselben werden durch Bolzen *a* mit dem Kranze verbunden, der letztere mittelst Zugstangen *z* an der Rosette *r* aufgehängt. Das obere Lager der vertikalen Welle wird durch die gusseisernen Stre-

*) Ponson, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, S. 337.

ben *g* gestützt, welche an der ringförmigen, den Rand des Saugkanales *s* einfassenden Platte *k* befestigt sind. Der Betrieb erfolgt mittelst Kegelräder *n* durch eine ausserhalb des Saugkanales befindliche stehende Dampfmaschine. Der geringe Durchmesser der Spindel ist, wie schon bemerkt, für den Effect ungünstig. Zwei Lesoinne'sche Ventilatoren stehen am Antonischacht der Carolinenzeche bei Witkowitz*) im Betrieb.

Nach älteren Versuchen liefert die Motte'sche Schraube einen Wirkungsgrad von 0·17 bis 0·20, der Lesoinne'sche Apparat einen solchen von 0·25 bis 0·26. Neuere Versuche von Morin ergaben für einen Schraubenventilator mit einem Schraubengang nur 0·055, für einen Guérin'schen mit 14 in zwei Umgängen vertheilten Flügeln 0·084 als höchste Wirkungsgrade.

Der Ventilator von Davaine**) Fig. 65 unterscheidet sich von den eben beschriebenen dadurch, dass seine Flügel nach derselben Fläche gekrümmt sind, welche scharfe Gewinde einer gewöhnlichen Schraube zeigen. Während nämlich bei den vorigen Ventilatoren, wie bei Schrauben mit flachen Gewinden, eine durch die Axe gelegte Ebene die Schraubenfläche in einer zur Axe senkrechten Geraden schneidet, ist diese Gerade hier unter 45° gegen die Axe geneigt. Ein Grund für die Abänderung wird nicht angegeben. Die vier Flügel *f* sind auf etwas mehr als $^{1}/_{4}$ des Umfanges ausgedehnt, so dass sie, wie die Seitenansicht Fig. 64 zeigt, sich etwas übergreifen; sie bestehen aus Holz und sind an den Enden durch einen mit Winkeleisen verstärkten Blechring *d* verbunden, der durch radiale Spannstangen gegen die Axe befestigt wird. Der Kern *c* besteht aus Gusseisen. Die Ganghöhe der Schraubenfläche beträgt 1^{m}, der Durchmesser des Ringes *d* $2·5^{m}$, der zwischen letzterem und dem Kern *c* bleibende Querschnitt, senkrecht zur Axe gemessen, vier Quadratmeter; bei 312 und 500 Umgängen pr. Minute ergaben sich 6·14 und 10·5 Cub.-Meter Luft pr. Sekunde, Depressionen von 3·4 und 8·1 Centimeter Wasser, endlich die Wirkungsgrade 0·26 und 0·32.

Eine von Guibal construirte Schraube mit Wasserliederung (hydropneumatische Schraube) soll 57 % Wirkungsgrad ergeben haben. Die Construction dieses Apparates scheint mit jener der Cagniardelle Aehnlichkeit zu haben.***)

---

*) Oesterr. Zeitschrift für B. u. H. 1870, Nr. 3.

**) Annales des mines, 5. Reihe, 17. Bd. S. 425.

***) Näheres darüber lässt sich weder aus der Notiz in der Revue universelle, 1857, 1. Bd. S. 412, noch aus Burat: Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, S. 291, entnehmen.

6) Centrifugal-Ventilatoren.

Ein Centrifugal-Ventilator ist ein am Umfang mit Flügeln versehenes Rad, welches, in Umdrehung versetzt, der zwischen den Flügeln befindlichen Luft ebenfalls eine Drehbewegung ertheilt. Wegen der Trägheit suchen sich die Lufttheile in tangentialer Richtung fortzubewegen, entfernen sich daher von der Axe und strömen am Umfang des Rades ab. In dem die Axe umgebenden Raume sinkt die Spannung, und setzt man diesen Raum mit der zu ventilirenden Strecke in Verbindung, so wird aus der letzteren Luft angesaugt.

Dieses Princip ist auf die mannigfaltigste Art zur Geltung gebracht worden, doch entbehren die ausgeführten oder vorgeschlagenen Constructionen häufig der rationellen Begründung. Unter den zahlreichen Arten von Centrifugal-Ventilatoren werden unten die Rittinger'schen vorausgeschickt, welche von einfacher Construction sind, zur Erzielung einer gegebenen Depression die geringste Umgangszahl verlangen und ziemlich viel Verbreitung gefunden haben, wenn sie auch den Angaben nach von anderen in Bezug auf den Wirkungsgrad übertroffen werden.

Zum Betrieb eines Centrifugal-Ventilators eignet sich, wenn Wasserkraft zu Gebote steht, besonders die Turbine wegen ihrer grossen Umgangszahl. Soll Dampf benützt werden, und ist dessen Erzeugung nicht kostspielig, so liesse sich mit Vortheil eine Dampfturbine*), d. h. ein nach Art einer schottischen Turbine construirtes, durch Dampf statt Wasser betriebenes Kreiselrad verwenden. Für die von gewöhnlichen Dampfmaschinen bewegten Ventilatoren ist die Transmission mit Riemen der mit Zahnrädern vorzuziehen, weil diese Stösse verursacht, welche Brüche zur Folge haben können. In neuerer Zeit legt man, wie namentlich die Verbreitung der Guibal'schen Ventilatoren zeigt, besonderen Werth auf eine geringe Umgangszahl, und geht damit so weit, dass bei der Bewegung durch eine gewöhnliche Dampfmaschine keine Umsetzung nothwendig wird; dadurch ergeben sich weniger Betriebsstörungen, dafür erfordert der Ventilator, wie unten gezeigt, einen grossen Durchmesser.

---

*) Vergl. v. Carnall's Vorschlag, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate 1854, 1. Bd. S. 64; Ventilator mit Dampfturbine von Schwestka, „Erfahrungen u. s. w." 1863, S. 2, und von Brakell, Dingler's polyt. Journal 1870, 196. Bd. S. 181.



Ventilator von Rittinger.

Rittinger's saugenden Ventilator zeigen Fig. 57 im Vertikalschnitte, Fig. 56 in der Ansicht und Fig. 58 im Horizontalschnitte. Das Rad besteht aus zwei Scheiben *a* und *d* Fig. 57, von welchen *a* auf der Welle *o* aufgekeilt, *d* ringförmig ist; zwischen beiden befinden sich Flügel *c*, deren Form aus Fig. 56 ersichtlich ist. Die Bewegung erfolgt mittelst der Riemenscheibe *r*. Die Luft strömt vom Saugkanal *s* zum Rad, und von diesem in den durch zwei Bretterwände *t* eingeschlossenen Auslaufraum (Diffuser), welcher die Geschwindigkeit herabsetzt, mit der die Luft in's Freie austritt. Die nähere Beschreibung folgt unten. Soll der Ventilator blasend wirken, so wird das Rad *r* Fig. 61 mit einem spiralförmig erweiterten Mantel *g* umgeben, an den sich das Blaserohr *k* schliesst.

Die Theorie dieser Ventilatoren ist in Rittinger's Werk über diesen Gegenstand und auszugsweise in v. Hauer's „Hüttenwesens-Maschinen" enthalten. Die Resultate der Rechnung sind für saugende Ventilatoren in den nachstehenden, zur Ermittlung der Hauptdimensionen dienenden Formeln zusammengestellt. Bezeichnen m die pr. Sekunde zu liefernde Luftmenge, H den Unterschied der effectiven Wassermanometerhöhen an der Ein- und Austrittsstelle des Rades, so ergeben sich für Metermaass: der innere Halbmesser R_1 Fig. 59 und 60 des Rades, zugleich des Saugrohres

$$(1) \quad \ldots\ldots\ldots \quad R_1 = 0{\cdot}565 \sqrt{\frac{m}{U_0}},$$

wobei U_0 die Geschwindigkeit der Luft im Saugrohre bedeutet; die Breite b Fig. 60 der Flügel, parallel zur Axe gemessen,

$$(2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad b = \frac{R_1}{2},$$

unter der Annahme, dass die Luft mit der Geschwindigkeit U_0 auch in den Flügelraum eintrete; die Anzahl n Umdrehungen pr. Minute

$$(3) \quad \ldots\ldots\ldots \quad n = \frac{1400}{R_2} \sqrt{H}$$

aus der Theorie der Bewegung der Luft in einem rotirenden Kanale; in (3) bedeutet R_2 Fig. 59 und 60 den äusseren Radhalbmesser; der Winkel α_1 Fig. 59 des innersten Flügelelementes gegen den Halbmesser

$$(4) \quad \ldots\ldots\ldots \quad tg\, \alpha_1 = 0{\cdot}0019\, n \sqrt{m}$$

aus der Bedingung, dass der Eintritt der Luft in das Rad ohne Stoss

erfolge; der Winkel des äussersten Flügelelementes gegen den Halbmesser gleich Null, d. h. das Flügelende radial, wobei zur Erzeugung einer gegebenen Depression die geringste Umgangszahl genügt; der Halbmesser ϱ für die kreisförmige Krümmung der Flügel

$$(5) \quad \ldots\ldots \quad \varrho = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2\, R_1 \sin \alpha_1}$$

aus der Construction; die Flügelzahl s

$$(6) \quad \ldots\ldots \quad s = 30\, R_1,$$

wobei die am äusseren Radumfange gemessene Entfernung zweier benachbarten Flügelenden 0·21^m beträgt; endlich die absolute Geschwindigkeit U_2, mit welcher die Luft das Rad verlässt,

$$(7) \quad \ldots \quad U_2 = \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 U_0^2 + 7830\, H.}$$

Die Geschwindigkeit U_0 kann gleich 10^m, für geringe Windmengen mit Vortheil noch kleiner angenommen werden, wodurch die Widerstände sinken, und, wie obige Formeln zeigen, nur der innere Halbmesser R_1 und die Breite b des Rades wachsen.

Da in der Regel nicht der Unterschied H der effectiven Manometerhöhen, sondern die zu erzeugende Depression gegeben wird, soll erstere durch letztere ausgedrückt werden. Unter effectiver Druckhöhe ist die Summe aus der Pressungshöhe h_x und der Geschwindigkeitshöhe $\frac{\delta}{2\, g\, \gamma} u^2$ der bewegten Luft zu verstehen, wobei u deren Geschwindigkeit, δ ihr specifisches Gewicht, g die Acceleration der Schwere und γ das specifische Gewicht der manometrischen Flüssigkeit bedeuten. Es ist daher die effective Druckhöhe H_1 beim Eintritt in das Flügelrad, wenn h die Depression an dieser Stelle bedeutet,

$$H_1 = -h + \frac{\delta}{\gamma} \frac{U_0^2}{2\, g}.$$

Bei Bewegung der Luft durch einen Raum von allmälig geändertem Querschnitt mit ruhenden Wänden bleibt aber die effective Druckhöhe ungeändert, wie schon bei Berechnung der Schraubenventilatoren gezeigt wurde. Man kann daher die effective Druckhöhe H_2 beim Austritt vom Flügelrad gleich der am Umfange des Auslaufraumes vorhandenen setzen. An der letzteren Stelle ist die Pressungshöhe Null; wenn U_3 die Geschwindigkeit bedeutet, mit der die Luft den Auslaufraum verlässt, ergibt sich somit

$$H_2 = \frac{\delta}{\gamma} \frac{U_3^2}{2g},$$

daher

$$H = H_2 - H_1 = h - \frac{\delta}{2 g \gamma} (U_0^2 - U_3^2).$$

Die Geschwindigkeit U_3 kann so angenommen werden, dass der Effectsverlust, den sie hervorruft, und welcher der lebendigen Kraft der die Geschwindigkeit U_3 besitzenden Luftmenge m pr. Sekunde gleichkommt, ein bestimmtes Maass nicht überschreite. Dass der angenommene Werth von U_3 sich wirklich einstelle, wird, wie unten gezeigt, durch entsprechende Grösse des Auslaufraumes erreicht. Sei e das Verhältniss des obigen Effectsverlustes zum reinen Effect $m h \gamma$, so ist

$$e = \frac{1}{m h \gamma} m \delta \frac{U_3^2}{2g} = \frac{\delta U_3^2}{2 g h \gamma}, \text{ mithin}$$

(8) . . . . $$U_3^2 = \frac{2 g \gamma}{\delta} e h \text{ und}$$

$$H = h + e h - \frac{\delta U_0^2}{2 g \gamma}.$$

Setzt man z. B. fest, dass der Effectsverlust 5 % des reinen Effectes betragen dürfe, so wird $e = 0{\cdot}05$, daher wegen $\delta = 1{\cdot}25$, $\gamma = 1000$ und $g = 9{\cdot}8088$

(9) . . . . $$H = 1{\cdot}05\, h - \frac{U_0^2}{15700}.$$

Aus dieser Gleichung kann also der in den früheren Formeln erscheinende Werth von H bestimmt werden, wenn die Depression h beim Eintritt in das Laufrad gegeben ist. Wäre statt h die Depression h_s an einer anderen Stelle des vom Ventilator weg sich erweiternden Saugrohres gegeben, und U_s die Geschwindigkeit der Luft an jener Stelle, so hätte man nach der bei den Schraubenventilatoren unter (16) entwickelten Formel

(10) . . . . $$h = h_s + \frac{U_0^2 - U_s^2}{15700},$$

und es wird der Unterschied von h gegen H und h_s um so merklicher, je kleiner die Depression und je grösser U_0 ist. Die Geschwindigkeit U_s ergibt sich, wenn man m durch die Fläche des Saugkanal-Querschnittes, worin die Depression h_s vorhanden sein soll, dividirt.

Damit die Luft den Auslaufraum wirklich mit der Geschwindigkeit U_3 verlasse, muss der Rand desselben sich in der entsprechenden Entfernung R_3 von der Axe befinden. Die Luft strömt

nach allen Richtungen geradlinig und nahe tangential vom Rade ab; der Gesammtquerschnitt derselben ist daher der Entfernung von der Axe direct, die Luftgeschwindigkeit hingegen dem Querschnitt, mithin auch jener Entfernung verkehrt proportional, d. h. es ist

$$\frac{U_3}{U_2} = \frac{R_2}{R_3},$$

$$(11) \quad \ldots \ldots \ldots \quad R_3 = R_2 \frac{U_2}{U_3},$$

worin U_2 nach (7), U_3 nach der aus (8) für $e = 0{\cdot}05$ folgenden Formel

$$(12) \quad \ldots \ldots \ldots \quad U_3 = 28\sqrt{h}$$

zu berechnen ist. Der Auslaufraum sollte daher durch einen Kreis vom Halbmesser R_3 begrenzt sein; diess kann dadurch erreicht werden, dass man den Scheiben *ad* Fig. 57 den äusseren Halbmesser R_3 gibt, dieselben also über die Flügel hinaus erweitert, und die Holzwände *t* weglässt. Bei Ventilatoren von grösserem Halbmesser R_2 wird aber R_3 zu gross, daher in diesem Falle ein hölzerner Auslaufraum in Form eines dem Kreise vom Halbmesser R_3 umschriebenen Quadrates entspricht. Für Ventilatoren von den grössten Halbmessern R_2 endlich eignet sich der unten besprochene geschlossene Auslaufraum.

Wie also aus den bisherigen Betrachtungen hervorgeht, besteht der Nutzen des Auslaufraumes darin, den Effectsverlust *e* zu vermindern.

Zu Formel (3) sind einige Bemerkungen zu machen. Der aus der Theorie folgende Werth des numerischen Coëfficienten in (3) beträgt 845. Aus Versuchen hat sich ergeben, dass dieser Werth, um die gegebene Depression zu erreichen, gesteigert werden müsse; um wie viel, lässt sich jedoch nicht allgemein angeben, da die Rittinger'schen Versuche mit einem blasenden Ventilator bei einer Pressungshöhe von $0{\cdot}8^m$ Wasser 30 %, mit einem saugenden bei 0.04^m Depression 70 % Steigerung als nothwendig ergaben; die letztere scheint daher bei abnehmendem Spannungsunterschiede zu wachsen. In (3) ist $1{\cdot}7 \,.\, 845 = 1400$ statt 845 eingesetzt, und es wird dieser Coëfficient für alle Fälle anwendbar sein, wo die Depression nicht stark von $0{\cdot}04^m$ Wasser verschieden ist.

Die Formel (3) enthält ferner zwei Unbekannte *n* und R_2, von welchen eine gewählt werden muss. Bei grossem Halbmesser R_2 werden Gewicht und Kosten des Rades grösser, die Montirung schwieriger; ist R_2 klein, so ergibt sich eine grosse Zahl *n* Umgänge, die

Transmission wird complicirter, der Verbrauch an Schmiere grösser und der Apparat geräth in nachtheilige Vibrationen. Aus diesen Ursachen sind Centrifugalventilatoren nur für geringere Pressungsunterschiede praktisch gut verwendbar; denn aus (3) folgt

$$n R_2 = 1400 \sqrt{H}$$

ist also H gross, so muss entweder n oder R_2 gross werden, womit die obigen Nachtheile verbunden sind. Bei der Wahl von R_2 ist noch der bereits früher ermittelte Werth von R_1 zu berücksichtigen; es soll $R_2 - R_1$, d. h. die radiale Dimension des Flügelraumes nicht zu klein werden, damit die Spannungs- und Geschwindigkeitsänderung der Luft nicht auf einem zu kurzen Wege erfolgen muss.

Der Wirkungsgrad des Rittinger'schen Ventilators steigt bis 30 %, ist jedoch bei Ermittlung der Betriebskraft sicherer blos mit 25 % anzunehmen.

Es seien 8·75 Cub.-Meter Luft anzusaugen und die Depression $h = 0{\cdot}04^m$ Wasser beim Eintritt in das Flügelrad zu erzielen. Wählt man $U_0 = 10^m$, so folgt aus (9)

$$H = 0{\cdot}0356;$$

sodann aus (1) bis (3)

$$R_1 = 0{\cdot}53^m, \text{ rund } 0{\cdot}5^m; \; b = 0{\cdot}25^m;$$

$$n = \frac{1400}{R_2} \sqrt{0{\cdot}0356} = \frac{264}{R_2}.$$

Nimmt man $R_2 = 1{\cdot}7\, R_1 = 0{\cdot}85^m$, so wird

$$n = 310.$$

Weiter ergibt sich aus (4) bis (6)

$$tg\, \alpha_1 = 1{\cdot}854, \; \alpha_1 = 61^0\, 40';$$
$$sin\, \alpha_1 = 0{\cdot}880, \; \varrho = 0{\cdot}473$$
$$z = 25{\cdot}5, \text{ abgerundet } = 24;$$

bei dem Wirkungsgrad $\varepsilon = 0{\cdot}25$ die Betriebskraft

$$\frac{E}{\varepsilon} = \frac{m\, h\, \gamma}{\varepsilon} = 1400 \text{ Kil. Meter} = 18 \text{ Pferdekr.}$$

Nach (7) und (12) wird

$$U_2 = 17{\cdot}7, \; U_3 = 5{\cdot}6,$$

daher nach (11)

$$R_3 = 2{\cdot}7^m.$$

Nach diesen Dimensionen ist die Detailzeichnung Fig. 59 und 60 des Rades und der angrenzenden Theile ausgeführt. Die Verzeichnung der Flügel erfolgt auf nachstehende Art: Man beschreibt Fig. 59 zwei Kreise mit den Halbmessern R_1 und R_2, zieht an einem beliebigen Punkte A des grösseren der beiden Kreise eine Tangente $AB = \varrho$ und beschreibt durch B einen Kreis. Dieser wird in so viele gleiche Theile BC, CD u. s. w. getheilt, als das Rad Flügel erhalten soll, und nun können aus den Theilpunkten

B, *C*, *D* ... mit dem Halbmesser ϱ die Bögen $f_1 f_2 f_3$ .. gezogen werden, welche die Durchschnitte der Flügel darstellen.

Das Rad besteht aus einer gusseisernen Scheibe *a* Fig. 60, welche mittelst einer verrippten Nabe auf der Welle *o* festgekeilt ist und gegen das Ende der letzteren kegelförmig ansteigt, um die Bewegung der durch das Saugrohr *s* einströmenden Lufttheile allmälig in eine radiale umzuwandeln. Die Flügel sind zwischen zwei ringförmigen Blechscheiben *d g* eingeschlossen, von welchen die eine *g* an die Platte *a* festgenietet ist. Die Flügel werden in der aus Fig. 62 ersichtlichen Form aus Blech geschnitten, nach dem Halbmesser ϱ gebogen, mit den an beiden Seiten vorragenden Zäpfchen in vorgebohrte Löcher der Scheiben *d g* Fig. 60 eingepasst und hierauf die Zäpfchen vernietet. Dadurch ist die Scheibe *d* mit den Flügeln und dem Rade zu einem Ganzen verbunden. Bei grossem Durchmesser ist die Befestigung der Flügel auf diese Art nicht haltbar genug und, wie bei dem Ventilator am Heinrichschacht in Ostrau, der 14′ Durchmesser besitzt, besser durch rechtwinklig umgebogene Blechplättchen auszuführen, die einerseits mit dem Flügel, andererseits mit den Scheiben vernietet werden. Der Diffuser besteht aus zwei Bretterwänden *t*, welche an vertikalen Balken *p* Fig. 60 befestigt und mit Ausschnitten für die Scheiben *d g* versehen sind; der ringförmige Spalt zwischen den letzteren und den Wänden *t* soll möglichst schmal sein, um die Zuströmung der Luft von Aussen in den Diffuserraum, wo die Spannung kleiner ist als die atmosphärische, thunlichst herabzusetzen.

Der Ventilator saugt die Luft aus einem gemauerten Kanal, dessen Mündung durch das gusseiserne an der Mauer verankerte Rohr *s* armirt ist, und der sich allmälig bis auf den Querschnitt der zu ventilirenden Strecke erweitert. Es ist wichtig, dass sich das Ventilatorrad dicht an das Rohr *s* anschliesse, weil die zwischen beiden einströmende äussere Luft die aus der Strecke angesaugte Menge vermindert. Aus diesem Grunde ist am Rade der Messingring *n* befestigt, der sich mit glatt abgeschliffener Aussenfläche an den ebenso appretirten Rand des Rohres *s* schliesst. Saugt der Ventilator aus einer Lutte, so kann an deren Mündung ein gusseisernes Rohr befestigt werden, das die Stelle von *s* vertritt.

Die Lagerschalen der Ventilatorwelle sind wegen geringerer Abnützung länger als gewöhnlich hergestellt, und um die Montirung zu erleichtern, aussen nach Kugelflächen geformt. Die Welle ist stärker als nach den Formeln für langsam gehende Torsionswellen ausgeführt.

Die Zusammenstellung des oben berechneten Ventilators in $^1/_{50}$ Naturgrösse zeigen Fig. 56 bis 58. Darin erscheinen die Wände *tt* des Diffusers, die Grundplatte *p*, welche mit den Lagern der Welle *o* aus einem Stück gegossen ist, und die Vorrichtung, durch welche das Ventilatorrad möglichst nahe dem Saugrohr gestellt, jedoch ein wirkliches Andrücken und die daraus entspringende Reibung vermieden werden kann. Die Welle *o* ist nämlich in ihren Lagern horizontal verschiebbar und wird durch eine Schraube *q*, welche in Muttergewinden eines festen Bügels geht, dem Saugrohr *s* genähert, während die Feder *f* das zu starke Anpressen hindert. Diese Feder darf schon aus dem Grunde nicht zu schwach sein, weil der Ueberdruck der äusseren über die angesaugte Luft das Rad gegen den Saugkanal drückt.

Das bei nicht genauem Anschlusse des Ringes *n* Fig. 60 an das Saugrohr *s* stattfindende Zurückströmen äusserer Luft wird vermieden, wenn man die Blechscheibe *d* weglässt, die Wände *t* des Auslaufraumes bis zur Mündung des Saugrohres fortsetzt und mit diesem luftdicht verbindet, oder wenn man den Flügelraum durch eine ruhende, abgedrehte Scheibe einschliesst, welche mit dem Saugrohr *s* ein Gussstück bildet und sich mit dem äusseren Rande luftdicht an die Wände *t* schliesst. Die freien Flügelenden wären in beiden Fällen durch zwei aufgenietete Ringe, welche in der Ebene von *d* liegen, zu verstärken. Ist der Spielraum zwischen den Flügeln und der angrenzenden festen Wand gering, so wird längs der letzteren keine Luft zurückströmen.

Bei den neueren Ausführungen der Centrifugalventilatoren überhaupt neigt man sich, wie schon bemerkt, mit Vorliebe einem grossen Halbmesser zu, um nur die Umgangszahl herabzusetzen, und nebstdem die Transmission zu vermeiden. So findet man Durchmesser von 4 bis 5^m bei 80 bis 100 Umgängen pr. Minute. Bei solchen Dimensionen erhält das Rad ein bedeutendes Gewicht, weshalb es zweckmässig ist, das demselben nächste Zapfenlager im Saughals aufzustellen, nur erhalten dann beide Lager keine gemeinschaftliche Grundplatte mehr. Auch ergeben sich bei grossem Raddurchmesser beträchtliche Dimensionen für den Diffuser. Dieser lässt sich jedoch durch einen wie bei blasenden Ventilatoren construirten geschlossenen Auslaufraum ersetzen, der in ein allmälig erweitertes Blaserohr mündet, und aus Holz, oder wie beim Guibal'schen Ventilator (s. unten) aus Mauerwerk aufzuführen wäre. Hat man es mit schlagenden Wettern zu thun, so gewährt diese Einrichtung den Vortheil, dass man das Blaserohr ver-

tikal aufwärts oder überhaupt an einen Ort führen kann, wo die Gefahr einer zufälligen Entzündung der ausgeblasenen Luft vermieden ist.

Sei Fig. 61 $CDAE$ der geschlossene Auslaufraum, k das Blaserohr. Die anfängliche Höhe s des letzteren ist so gross zu nehmen, dass die Luftmenge m pr. Sekunde mit derselben Geschwindigkeit U_2 in das Blaserohr einströmt, mit welcher sie das Rad verlässt; wird nun der Auslaufraum durch eine archimedische Spirale begrenzt, so bleibt die Geschwindigkeit der Luft darin ungeändert, weil von gleichen Theilen des Umfanges gleiche Luftmengen abfliessen. Da das Blaserohr im Querschnitt BE dieselbe Breite b hat, wie der Flügelraum, so ergibt sich

$$m = b\,s\,U_2,$$

$$(13) \quad \ldots\ldots\ldots \quad s = \frac{m}{b\,U_2},$$

worin die Werthe von b und U_2 aus (2) und (7) einzuführen sind. Ist ferner q der Querschnitt der äusseren Mündung des Blaserohres und U_3 die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft ins Freie tritt, so wird

$$(14) \quad \ldots\ldots\ldots \quad q = \frac{m}{U_3},$$

und soll der aus der lebendigen Kraft der austretenden Luft entspringende Effectsverlust wie beim offenen Diffuser nicht mehr als 5% der reinen Leistung $m\,h\,\gamma$ betragen, so ist für U_3 der Werth (12) einzuführen. Das Blaserohr ist dann allmälig bis auf den Querschnitt q, der quadratisch oder kreisförmig sein kann, zu erweitern.

In dem oben berechneten Beispiele ergaben sich für $m = 8{\cdot}75$ und $h = 0{\cdot}04$ die folgenden Werthe:

$$b = 0{\cdot}25,\ H = 0{\cdot}0356,\ R_2 = 0{\cdot}85,\ n = 310;$$
$$U_2 = 17{\cdot}7,\ U_3 = 5{\cdot}6,\ R_3 = 2{\cdot}7.$$

Für einen geschlossenen Auslauf ergäbe sich nach (13) und (14)

$$s = 1{\cdot}98, \text{ rund } 2^m,\ q = 1{\cdot}56 \text{ Quadrat-Meter.}$$

Der offene Diffuser ist also offenbar vortheilhafter, da derselbe nur $2 . R_3 = 5{\cdot}4^m$ Höhe und Breite erhält.

Nimmt man hingegen $R_2 = 2^m$, so wird nach (3)

$$n = 132,$$

wobei der Betrieb durch eine Dampfmaschine ohne Transmission erfolgen kann; ferner ergibt sich

$$U_2 = 17{\cdot}9;$$

b und U_3 bleiben ungeändert, daher wird $s = 1{\cdot}96$, wieder nahe $= 2^m$, $q = 1{\cdot}56$ Quadrat-Meter.

Der geschlossene Auslauf erhält also dieselben Dimensionen wie früher; der Querschnitt des Blasehalses kann dabei die constante Länge 2^m, hingegen

eine von $0{\cdot}25^m$ bis $\frac{1{\cdot}56}{2} = 0{\cdot}78^m$ wachsende Breite erhalten. Die Länge des Blasekanales selbst wäre etwa gleich 5^m zu nehmen.

Wollte man jedoch nun einen offenen Auslauf verwenden, so würde derselbe den Halbmesser

$$R_3 = 2\,\frac{17{\cdot}9}{5{\cdot}6} = 6{\cdot}4^m,$$

daher bei quadratischer Form $12{\cdot}8^m$ zur Seite erhalten. Mithin erscheint für $R_2 = 2^m$ ein geschlossener Auslauf vorzuziehen.

Die Verzeichnung der Wand des geschlossenen Auslaufraumes erfolgt annähernd mittelst Kreisbögen in folgender Art: Man construirt über dem Mittelpunkte Fig. 61 des Rades ein Quadrat $abcd$, dessen Seiten die Länge $\frac{s}{4}$ erhalten, und beschreibt der Reihe nach aus den Mittelpunkten b, c, d und a die Kreisbögen BC, CD, DA und AE.

Vergleicht man den Rittinger'schen Ventilator Fig. 56 bis 58 mit den für gleiche Leistungen berechneten von Fabry und Lemielle, so fallen die geringeren Dimensionen des ersteren auf. Allerdings ist zu beachten, dass der Durchmesser nur bei der ermittelten grösseren Umgangszahl $n = 310$ so klein ausfällt, bei Abnahme von n und bei grösserer Depression zunimmt; doch zeigt der Centrifugalventilator einfachere Construction, die einen längeren ungestörten Betrieb erwarten lässt. Bei Ventilation der Gruben sind übrigens meist die Bedingungen erfüllt, die eine praktisch vortheilhafte Verwendung dieser Maschine gestatten: kleine Pressungsunterschiede, welche eine geringe Umgangszahl erfordern, und bedeutende Luftmengen, für welche die anderen Apparate beträchtliche Dimensionen erhalten. Nur der kleine Wirkungsgrad ist ein Nachtheil, der indessen bei Kohlengruben meistens keine grosse Bedeutung hat. Für hüttenmännische Zwecke dagegen reducirt sich die Anwendung der Centrifugalventilatoren überhaupt auf Fälle, wo keine hohe Spannung benöthigt wird, wie z. B. für Schmiedefeuer.

Mit dem Fig. 46 projectirten Schraubenventilator verglichen zeigt der Rittinger'sche Ventilator den Vortheil einfacherer Construction, da an Stelle des Leitrades die hölzernen Auslaufwände treten; auch erfordert er eine etwas geringere Umfangsgeschwindigkeit; denn der theoretische Werth der letzteren ist

$$v = \frac{2\,\pi\,n\,R_2}{60} = \frac{2\pi}{60}\,845\,\sqrt{h} = 88{\cdot}5\,\sqrt{h};$$

beim Schraubenventilator wurde derselbe Werth, jedoch auf den mittleren Halbmesser bezogen, gefunden. Hingegen müssten Ver-

suche entscheiden, ob nicht der Wirkungsgrad eines grossen Schraubenventilators den des Rittinger'schen übertrifft, was nach der Angabe über den Wirkungsgrad des Heger'schen Ventilators wahrscheinlich, und der geradlinigen Zuführung der Luft wenigstens theilweise zuzuschreiben ist.

Andere Arten von Centrifugalventilatoren.

Die frühere Einrichtung des Ventilators von Combes zeigt Fig. 76. Derselbe kann an der Mündung eines vertikalen Kanales oder an der Oeffnung des Wetterschachtes selbst angebracht werden; im letzteren Falle muss der Schacht durch ein Gewölbe oder durch einen Bretterbeleg, worin nur die für den Ventilator nothwendige Saugöffnung bleibt, verschlossen sein. Der Apparat besteht aus einer vertikalen Welle *o*, welche unten in einer quer durch die Schachtöffnung gelegten Traverse, oben in einem Gestell gelagert ist und mittelst Riementransmission ihre Drehung erhält; aus der Scheibe *c*, dem Ringe *d* und den zwischen beiden eingeschlossenen Flügeln. Der luftdichte Anschluss des Rades an die Saugöffnung wird durch die übrigens schon früher von Heerburger angewandte Wasserliederung erzielt; ander Scheibe *d* ist nämlich unten ein Blechcylinder befestigt, welcher in die mit Wasser gefüllte kreisförmige Rinne *r* taucht.

Diese Einrichtung bewährt sich indessen nicht, da das Wasser, von dem eingetauchten Cylinder in schnelle Rotation versetzt, durch die Fliehkraft nach aussen getrieben wird, und daher entweder ein fortwährender Zufluss von Wasser stattfinden oder die Rinne *r* sehr tief gemacht werden muss. Daher wurde es für zweckmässiger erachtet, die vertikale Stellung der Axe, welche durch die obige Liederungsart bedingt ist, aufzugeben und die Axe wie bei den anderen Arten von Centrifugalventilatoren horizontal zu legen. Ein solcher Apparat wurde von Glépin zu Sauwartan aufgestellt; bei demselben strömt die Luft von beiden Seiten her in das Ventilatorrad, welches durch eine zur Axe senkrechte Wand in zwei Abtheilungen getrennt ist.

Die in Fig. 77, welche den Grundriss des Ventilatorrades Fig. 76 darstellt, angegebene Form der Flügel *f* hat den Zweck, die Luft mit möglichst geringer Geschwindigkeit vom Rade austreten zu lassen. Es sind 3 oder 6 Flügel angeordnet, welche die innere Peripherie derart schneiden, dass die Luft ohne Stoss in das Rad eintritt, am äusseren Umfange hingegen tangential auslaufen. Dadurch wird erzielt, dass die Luft in annähernd radialer Richtung abströmt, wäh-

rend bei radialen Flügelenden der Austritt nahe tangential erfolgt, der Luftstrom daher einen kleinen Querschnitt und eine grosse Geschwindigkeit besitzt. Der Apparat unterscheidet sich also von dem Rittinger'schen, wo die Austrittsgeschwindigkeit durch den Diffuser herabgesetzt wird, ähnlich wie die früher besprochenen zwei Varietäten der Schraubenventilatoren von einander.

Der Diffuser erfüllt nun seine Aufgabe so wie die Flügelform Fig. 77, welche den Nachtheil hat, zur Erzeugung der gegebenen Depression eine grössere Umfangsgeschwindigkeit, daher einen grösseren Halbmesser R_2 oder eine höhere Umgangszahl n zu verlangen. Es ist in Rittinger's Ventilatorentheorie nachgewiesen, dass die geringste Peripheriegeschwindigkeit erfordert wird, wenn die Flügelenden radial auslaufen, und die Versuche mit Combes'schen Ventilatoren bestätigen diesen Satz. Denn für den Rittinger'schen Ventilator ist bei 4 Centimeter Depression

$$n\, R_2 = 1400 \sqrt{H}.$$

Nach den von Glépin mit einem Combes'schen Ventilator von $0{\cdot}85^m$ äusserem Halbmesser abgeführten Versuchen*) ergibt sich bei Depressionen von 1·6 bis 2·3 Centimeter Wasser im Mittel $n\, R_2$ gleich $2900 \sqrt{h}$, beim Ventilator zu Sauwartan für 4·6 Centimeter Depression gleich $2400 \sqrt{h}$, also bedeutend grösser als beim Rittinger'schen, da $\sqrt{H}$ und $\sqrt{h}$ nicht erheblich verschieden sind.

Der Wirkungsgrad des Combes'schen Ventilators beträgt nach obigen Versuchen 0·27 bis 0·29.

Dem Combes'schen ist der Gallez'sche Ventilator Fig. 73**) in Bezug auf die Flügelconstruction ähnlich; derselbe wird bei 9^m Durchmesser von einer stehenden Dampfmaschine ohne Transmission betrieben und ist von einem spiralförmigen, gemauerten Mantel mit Blasehals umgeben.

Desgleichen ist bei dem Ventilator von Tournaire***) Fig. 82 eine der Combes'schen analoge Form der Flügel angewandt; diese sind nach einer logarithmischen Spirale gekrümmt, deren Tangente den constanten Winkel von 70^0 mit dem Radius einschliesst. Innerhalb des Rades ist ein feststehender Leitapparat mit radialen Flügeln aufgestellt, um den Eintritt der Luft in das Rad zu reguliren. Die nähere Construction des Ventilators ist aus dem Längenschnitt Fig. 81 ersichtlich. Das Rad besteht aus der auf der Axe o festen Scheibe a,

---

*) Combes, Bergbaukunst, deutsch von Hartmann, 2. Bd. S. 140.

**) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1865, 13. Bd. S. 187.

***) Annales des mines, 5. Reihe, 17. Bd. S. 233.

an deren beiden Seiten die Flügel sich befinden. Der Flügelraum ist durch zwei etwas conische Blechscheiben *b* eingefasst, daher gegen Aussen verjüngt. Die Luft wird durch zwei Rohre *s* angesaugt, welche auf den mit der Grundplatte *q* aus Einem Stück gegossenen Ständern *p* festgeschraubt sind. Innerhalb der Rohre *s* und durch je drei radiale Rippen *r* (auch in Fig. 82 ersichtlich) damit verbunden, befinden sich zwei massive Kerne *k*, welche die Lager der Ventilatorwelle enthalten und aussen derart geformt sind, dass die Richtung der dem Rade zuströmenden Luft allmälig geändert wird. Zwischen den Rippen *r* befinden sich die radialen blechernen Leitflügel, 30 an der Zahl, deren äussere Ränder in die Wand der Saugröhren *s* eingegossen sind. Jeder Kern *k* enthält zwei stählerne Lagerschalen für die Axe und ist mit einer Schmiervorrichtung versehen; *t* ist die Triebrolle. Setzt man die beiden Rohre *s* mit der Grubenstrecke in Verbindung, so wirkt der Ventilator saugend; es kann auch eine der beiden Abtheilungen desselben weggelassen und nur das zur andern gehörige Rohr *s* mit dem Saugraume verbunden werden. Mit dem Fig. 81 dargestellten Ventilator von 0·85^{m} äusserem Durchmesser wurden Versuche abgeführt, wobei man jedoch denselben nur blasend wirken liess.

Bei Anordnung zweier Saugöffnungen zu beiden Seiten des Rades, wie sie bei dem Ventilator von Tournaire und auch bei dem oben beschriebenen Combes'schen Ventilator zu Sauwartan vorkommt, wird der innere Durchmesser des Rades kleiner, daher bei gleichem äusseren Durchmesser die radiale Dimension des Flügelraumes grösser. Dieser Vortheil ist jedoch nur bei sehr grossen Luftmengen und sehr kleiner Depression merklich, wobei sonst der innere Halbmesser gross ausfällt, während der äussere gering wird. Die Scheidewand, welche den Ventilatorraum in zwei Hälften theilt, verhindert die gegenseitige Störung in der Bewegung der von beiden Oeffnungen einströmenden Lufttheile. Uebrigens ist die Anordnung von den später zu beschreibenden Doppelventilatoren zu unterscheiden, daher auch die letztere Benennung hier vermieden.

Andere Ventilatoren mit zwei Saugöffnungen Fig. 87 stammen aus der Maschinenfabrik von Nasmyth*) zu Manchester. Das Flügelrad *f* wird durch eine Dampfmaschine *d* ohne Transmission bewegt und verrichtet dabei angeblich 5—600 Umgänge pr. Minute. Das Ansaugen erfolgt durch zwei gusseiserne Kästen *s*, welche auf

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1854, 1. Bd. S. 64.



dem Untersatze *g* ruhen; der letztere wird auf die Schachtmündung gestellt.

Ein Guibal'scher Ventilator*) ist in Fig. 68 dargestellt. Auf der Welle sind zwei Armsterne *a*, daran die Winkeleisen *b*, und an diesen die 8 hölzernen Flügel *c* befestigt; die Form der letzteren ist der Rittinger'schen ähnlich, da sie radial auslaufen. Bei dem grossen Durchmesser (7 bis 9 Meter) wird die Transmission entbehrlich und erfolgt der Betrieb direkt von der Dampfmaschine aus durch eine an der Ventilatorwelle befestigte Kurbel. Das Flügelrad ist in einem gemauerten Gehäuse eingeschlossen, an welches sich der in's Freie ausmündende Blasehals *d*, ein nach oben erweiterter vertikaler Schlot, anschliesst. Dadurch ist bezweckt, das Zurückströmen äusserer Luft in den Saugraum zu vermeiden, der wesentlichste Vortheil dürfte jedoch in der Herabsetzung der Austrittsgeschwindigkeit mittelst des Blasehalses liegen. Die Grösse der Austrittsöffnung lässt sich durch einen Schieber *k* reguliren, welcher aus schmalen durch Charniere verbundenen Brettern besteht, deren Enden in den Nuthen zweier eingemauerten Eisenplatten gleiten. Je höher der Schieber am oberen Ende emporgezogen wird, desto grösser ist die am unteren Ende freiwerdende Ausströmungsöffnung, und letztere kann so lange abgeändert werden, bis der günstigste Gang eintritt. Das Gehäuse ist behufs etwa vorzunehmender Reparaturen durch eine Thür zugänglich, das Gewölbe bei *e* durch einen Träger gestützt. Bei anderen Guibal'schen Ventilatoren sind nur 4 oder 6 ebene Flügel, bei 4 oder 5^{m} Durchmesser angeordnet, und erfolgt die Bewegung durch Riementransmission.**)

Der Wirkungsgrad der Guibal'schen Ventilatoren soll bis 0·6 steigen, was aber angezweifelt werden muss, da der ähnlich construirte Rittinger'sche nur ungefähr die Hälfte ergibt. Die Breite der ausgeführten Guibal'schen Ventilatoren ist grösser als die theoretische, die Kreisform Fig. 68 des Gehäuses scheint nicht vortheilhaft, da die Luft aus jedem zwischen den Flügeln befindlichen Kanale erst in dem Momente austreten kann, wo dieser das Blaserohr passirt, daher eine continuirliche Luftströmung im Flügelraum nicht möglich ist. Auf die Anwendung des Schiebers wird grosses Gewicht gelegt, weil sich durch denselben die angesaugte Luftmenge reguliren lässt.

---

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1865, 13. Band. S. 186.

**) Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, Taf. 52.



Bei einem auf der Pariser Industrie-Ausstellung befindlichen Modell*) mit sechs ebenen Flügeln war übrigens das Gehäuse gegen den Blaseraum zu spiralförmig erweitert.

Nach mehrfachen Beobachtungen**) ergibt sich für Guibal'sche Ventilatoren in der Formel

$$n R_2 = \alpha \sqrt{h}$$

für Depressionen $h = 0{\cdot}04$ bis $0{\cdot}06^m$ Wasser, der Coëfficient α gleich 1200 bis 1400, welches Resultat mit dem der Rittinger'schen Ventilatoren übereinstimmt. Der Werth von α steigt, wenn die Umganszahl n unter die vortheilhafteste sinkt.

Die Guibal'schen Ventilatoren sind in Belgien viel angewendet, und haben auch in Preussen, Sachsen***), sowie in neuerer Zeit in Oesterreich†) Eingang gefunden.

Neben den guten Leistungen ist dies besonders der Vermeidung der Transmission und der Anwendung des Schiebers zuzuschreiben. Die Rittinger'sche Construction entspricht vollständiger den Anforderungen der Theorie; damit soll indessen nicht behauptet werden, dass die Guibal'sche an praktischem Erfolge nachstehe, denn darüber können endgiltig nur Versuche entscheiden, welche indessen den genügenden Grad von Verlässlichkeit besitzen müssen.

Der Ventilator von Letoret enthält 4 oder 6 ebene ähnlich wie beim Guibal'schen zurückgeneigte Flügel. Aus den damit abgeführten Versuchen††) ergibt sich der obige Coëfficient α mindestens gleich 2200. Fig. 72 zeigt einen Letoret'schen Ventilator. Die Flügel f sind um Gelenke drehbar und lassen sich an den Bögen g feststellen, so dass durch Versuche die zweckmässigste Neigung derselben bestimmt werden kann. Der Ventilator saugt aus zwei beiderseits vom Rade angebrachten Oeffnungen.

Als Nachtheil der Ventilatoren, welche, wie die Gallez'schen Fig. 73, stark zurückgekrümmte Flügel besitzen, und wobei die Weite der Radkanäle im Vergleich zu ihrer Länge gross ist, wird hervorgehoben, dass die Luft sich mehr radial gegen Aussen bewege, der concaven Flügelseite folge und daher an der convexen Seite

*) Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Ausstellung 1867, S. 29.

**) Vergl. u. A. die Versuche von Cabany, Bull. de la soc. de l'ind. minérale 1861, 6. Bd. S. 533.

***) Freiberger Jahrb. für den Berg- und Hüttenmann 1868, S. 89.

†) Auf der Tiefbauzeche in Witkowitz, Oest. Zeitschrift für B. u. H. 1870, Nr. 3.

††) Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, S. 277.

nahe dem Radumfange Wirblung und selbst Zurückströmung von Luft eintrete. Bei Ventilatoren mit ebenen oder vorwärts gekrümmten Flügeln hingegen, wie z. B. den Rittinger'schen, wird sich die stärker verdichtete Luft an der in der Richtung der Bewegung gelegenen Flügelseite befinden, so dass an der Rückseite Wirbel entstehen. Dagegen soll das Einschliessen des Ventilators in ein Gehäuse, wie beim Guibal'schen Ventilator, helfen; allein ist das Gehäuse cylindrisch, so tritt der dort hervorgehobene Nachtheil ein, ist es hingegen spiralförmig erweitert, so ist kein Grund, warum nicht wieder Störungen in der Ausströmung stattfinden sollten.

Ein anderes Mittel besteht darin, wie beim Lambert'schen Ventilator Fig. 78*), den Radumfang hinter jedem Flügel durch eine cylindrische Wand *a* abzuschliessen; dadurch werden aber offenbar die Austrittsgeschwindigkeit und der damit verbundene Effectsverlust vergrössert, wie auch die plötzliche Querschnittsänderung beim Austritt den Wirkungsgrad herabsetzt. Der Lambert'sche Ventilator soll auch bei Versuchen einen um 20 % geringeren Effect ergeben haben, als der Guibal'sche. Oder es wird die parallel zur Axe gemessene Breite des Flügelraumes gegen Aussen vermindert, wie bei dem Lloyd'schen und anderen Ventilatoren.**) Diese Construction hat unter sonst gleichen Umständen eine grössere Austrittsgeschwindigkeit U_2, daher eine kleinere Pressungshöhe h_2 zur Folge, da die effective Druckhöhe die gleiche bleibt. Die Geschwindigkeit U_2 lässt sich zwar durch einen Diffuser wieder herabsetzen, jedenfalls aber wird der aus der Reibung der Luft entspringende Effectsverlust vergrössert; auch ist es nicht bewiesen, dass bei der genannten Construction die stärkere Verdichtung an der einen und die Wirbelbildung an der anderen Flügelseite vermieden sei. Die Verengung des Flügelraumes gegen Aussen scheint hie und da auch in der irrigen Ansicht ihren Grund zu haben, dass dadurch der vom Ventilator erzeugte Spannungsunterschied vergrössert werde.

Den Ventilator von Chagot***) zeigen Fig. 79 im Vertikalschnitte und 80 im Grundrisse. An der Welle *o*, welche in den Lagern *p* und *q* läuft, ist oben der Blechkegel *b*, unten der Cylinder

---

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1865, 13. Bd. S. 185.

**) Revue universelle des mines, 1. Bd. S. 300; Civilingenieur, 8. Bd. S. 25; Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Ausstellung 1855, S. 78, und 1867, S. 28.

***) Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Industrie-Ausstellung 1855, S. 79.



c, und an diesem ein zweiter, abgestumpfter Kegel *a* aus Blech befestigt. Der Cylinder *c* bewegt sich nahe anschliessend in dem auf die Mündung des Saugkanales gestellten Cylinder *n*. Zwischen den Kegeln *a* und *b* sind drei Flügel *d* befestigt, und zwar in der aus dem Grundrisse ersichtlichen schrägen Stellung. *r* ist die zum Betriebe dienende Riemenrolle.

Dem Chagot'schen ähnlich ist der Ventilator von Duvergier*) construirt.

Doppelventilatoren.

Die Umfangsgeschwindigkeit der Ventilatoren lässt sich noch weiter herabsetzen, als es durch entsprechende Flügelform möglich ist, wenn man statt eines mehrere Flügelräder anwendet, deren jedes nur einen Theil der gesammten Spannungserhöhung zu leisten hat. Versieht man z. B. zwei ganz gleich construirte, auf einer gemeinschaftlichen Welle befestigte Ventilatoren mit abgesonderten Gehäusen, und verbindet den Blaseraum des einen mit dem Saugraume des anderen, so hat jeder die effective Druckhöhe nur um $\frac{1}{2} H$ zu vergrössern, wenn die ganze Steigerung H sein soll. Da die Umfangsgeschwindigkeit der Quadratwurzel aus H proportional ist, wird sie in diesem Falle nur $\sqrt{0·5} = 0·707$ der bei einem einzigen Ventilator nothwendigen.

Dieses Princip lässt sich bei Ventilation der Gruben auf folgende Art realisiren, wobei vorausgesetzt ist, dass der Raum *A* Fig. 74 und 75 mit frischer Luft zu versorgen sei.

1) Von dem einen Ventilator *a* Fig. 74 wird eine Sauglutte *c* bis zu einem Orte, wo sich frische Luft befindet, geführt. Der Ventilator *a* saugt diese Luft an und treibt sie durch das Verbindungsrohr *e* dem zweiten Ventilator *b* zu, dessen Blaserohr in die Lutte *d* mündet. Die verdorbene Luft strömt durch die Strecke *A C* ab. So wirken die Doppelventilatoren von Chapli**) und von Perrigault.***)

2) Das Saugrohr *c* Fig. 74 wird mit der Lutte *d*, das Blase rohr des Ventilators *b* mit der äusseren Luft oder einem Schacht,

---

*) Burat, Das Material des Steinkohlenbergbaues, deutsch von Hartmann, Taf. 53.

**) Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Ausstellung 1855. S. 79.

***) Dingler's polyt. Journal 1866, 179. Bd. S. 266; Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Ausstellung 1867, S. 28.



durch den die Wetter ausziehen, verbunden. Dabei strömt die frische Luft von *C* gegen *A* ein, und es wäre diese Anordnung in der Regel vorziehen, weil die Maschine nun saugend wirkt.

3) Endlich kann nach Fig. 75 der Ventilator *b* von einem dazu geeigneten Orte durch die Lutte *c* reine Luft ansaugen, dieselbe durch die Lutte *d* nach *A* schaffen, während der zweite Ventilator *a* die verdorbene Luft durch *e* ansaugt und mittelst einer an den Blaseraum angeschlossenen Lutte ins Freie schafft. In diesem Falle ersetzen die Lutten *d e* Fig. 75 das Verbindungsrohr *e* Fig. 74. Im Princip wäre dagegen einzuwenden, dass die Aus- und Einströmung der Luft in der Länge *A C* durch Lutten stattfinden muss, während im Falle 1) die Aus- und im Falle 2) die Einströmung durch die Strecke *A C* selbst erfolgt, und wegen des grösseren Querschnittes der letzteren die Bewegungshindernisse kleiner werden. Auch könnte unter Umständen die Wirksamkeit des Apparates dadurch beeinträchtigt werden, dass Fig. 75 die Spannung in *A* von der bei *C* verschieden wird und daher in der Strecke *A C* selbst eine Strömung entweder von *A* gegen *C* oder umgekehrt eintritt. Doch hat die beschriebene Einrichtung, welche von Eckardt*) ersonnen und mehrfach angewandt wurde, sich in der Praxis gut bewährt. Sie gestattet namentlich, mittelst Lutten die frische Luft einem beliebigen Raume zu entnehmen und zugleich die verdorbene nach irgend einem anderen Orte fortzuführen, während im Falle 1) die Abströmung der verdorbenen und im Falle 2) die Zuströmung der frischen Luft nur durch die Strecke *A C* erfolgt. Der Doppelventilator von Eckardt wird unter den Handventilatoren beschrieben.

Handventilatoren.

Für geringere Leistungen, z. B. zur Versorgung einzelner Feldörter mit Luft werden von Hand betriebene Ventilatoren benützt. Sie können nach den oben entwickelten Grundsätzen ausgeführt werden; soll der Ventilator blasend wirken oder die angesaugte unreine Luft an einen bestimmten Ort schaffen, was bei Aufstellung desselben in der Grube öfters gefordert wird, so ist ein spiralförmig erweiterter Mantel nothwendig, an welchen sich tangential die zur Fortleitung der Luft bestimmte Lutte anschliesst. Bei der Construction ist nach Umständen darauf zu sehen, dass der Apparat auch

*) Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preuss. Staate, 1858, 5. Bd. S. 79.



in den Grubenräumen leicht zu transportiren, rasch zu zerlegen und wieder aufzustellen sei.

Ein blasendes Wetterrad in primitiver, dafür aber auch sehr einfacher und billiger Ausführung zeigen Fig. 83 und 84. Das Rad ist in einem aus einer gekrümmten und zwei ebenen Bretterwänden gebildeten Gehäuse eingeschlossen. Die Bretter sollen sämmtlich gefalzt, die Fugen verstopft oder verpicht sein. Vertikale Leisten verstärken die Seitenwände des Gehäuses, das in dem leichten Gerüst g eingeschlossen und mit der Blaselutte b versehen ist. Das Rad selbst Fig. 84 besteht aus einer hölzernen Welle mit eisernen Zapfen, an deren einen sich die Handkurbel anschliesst, und aus 4 oder 6 in der Welle verkeilten radialen Flügeln von Holz, deren Breite nächst der Welle durch zwei halbrunde Ausschnitte vermindert ist, um den Eintritt der Luft durch die Saugöffnungen zu erleichtern. Der äussere Halbmesser R_2 und die Umgangszahl können mit Hilfe der für Rittinger'sche Ventilatoren giltigen Formel bestimmt werden, nur wird man wegen des Stosses beim Eintritt, den die radialen Flügel veranlassen, etwa den Coëfficienten 2000 statt 1400 einsetzen, daher

$$n = \frac{2000}{R_2} \sqrt{h}$$

annehmen, wobei h die zu erzeugende Pressungshöhe oder Depression in Metern Wasser bedeutet. Die Breite des Gehäuses hingegen ist wegen einfacher Construction jener der Lutte, die Summe der Saugöffnungen etwas grösser als der Luttenquerschnitt zu nehmen.

Bei den für den Betrieb durch Einen Arbeiter bestimmten Ventilatoren beträgt der Durchmesser des Wetterrades 3 bis 4′, der Querschnitt der Lutte 50 bis 80 Quadratzolle, und es lässt sich damit die Luft durch Lutten bis auf 200 und mehr Klafter Länge fortbewegen. Wendet man Umsetzung an, so kann der Durchmesser des Rades in demselben Masse verkleinert werden, als die Umdrehungszahl durch die Transmission steigt. Die letztere erfolgt besser mittelst Riemen als durch Zahnräder.

Auf der Bochumer Hütte werden die in den Fig. 85 und 86 dargestellten Handventilatoren mit Transmission angefertigt.*) Der Ventilator Fig. 85 ist nach Rittinger's Theorie construirt und mit Riementransmission versehen. Das Gehäuse g, an das sich das Blaserohr b anschliesst, ruht auf dem Rahmen r, welcher durch vier Füsse gestützt ist; mittelst der Handkurbel k erfolgt die Bewegung.

*) Dingler's polyt. Journal, 1865, 175. Bd. S. 91.

Die Spindel der unteren Riemenrolle ist an dem um *o* drehbaren Rahmen *p* angebracht; drückt man letzteren nieder, so werden die beiden Riemen gespannt. Die Feststellung erfolgt durch einen bei *q* eingesteckten Stift. Aehnlich sind die von Dinnendahl in Huttrop bei Steele gefertigten Handventilatoren construirt.*)

Bei dem in Fig. 86 skizzirten Ventilator ist Zahnräder-Umsetzung angewendet.

Den Doppelventilator von Eckardt für Handbetrieb (vergl. S. 76) zeigen die Fig. 70 in der Ansicht, Fig. 71 im Grundriss und 69 im Vertikalschnitte. Die Flügelräder *f* haben 16'' Durchmesser und 4'' Breite, werden dnrch einen Mann mittelst Riementrieb bewegt und erhalten 600 bis 1000 Umgänge pr. Minute. Das Gehäuse besteht aus zwei Wänden *a*, an welchen die Lager der Ventilatorwelle angebracht sind. Der Raum, worin die Flügelräder sich bewegen, ist durch die Scheider *c*, welche die Saugöffnungen enthalten, dann durch spiralförmige Mäntel begrenzt, an die sich die Blaselutten *b* schliessen. Die Sauglutten werden mit den Oeffnungen *s* verbunden. Das Gehäuse ist leicht zu zerlegen und zu transportiren.

---

*) Rittinger, Mittheilungen über die Pariser Industrie-Ausstellung 1867, S. 27.

Literatur.

In Weisbach's Ingenieur- und Maschinen-Mechanik sind die Luftbewegungsmaschinen überhaupt, in v. Hauer's „Hüttenwesens-Maschinen" speciell die Hüttengebläse ausführlich behandelt.

Grössere Zusammenstellungen über Ventilationsmaschinen für Gruben finden sich in Combes' Bergbaukunde und Ponson's Handbuch des Steinkohlenbergbaues; gute Zeichnungen der Ventilatoren von Letoret, Guibal, Duvergier, Fabry, Lemielle und der Mahaux'schen Kolbenmaschine in Burat's „Material des Steinkohlenbergbaues".

Aeltere Aufsätze allgemeinen Inhaltes sind die über Ventilation der Gruben von Combes, Annales des mines, 1839, 15. Bd., und 1840, 18. Bd.; über Wettermaschinen von Trasenster, Annales des travaux publics de Belgique, 1845, 8. Bd. Unter den neueren Journal-Artikeln über Wettermaschinen überhaupt sind zu bemerken die von Burat, Revue universelle, 1857, 1. Bd. S. 412; von Devillez, Berg- und Hütt.-Ztg. 1859, 18. Bd. S. 366, aus den Ann. des trav. publics de Belg., 16. Bd.; über Wettermaschinen in England, Revue universelle des mines, 1860, 8. Bd. S. 27; von Bluhme, Zeitschrift für das B., H. u. Salinenwesen im Preuss. Staate, 1865, 13. Bd. S. 181. Ein Aufsatz, aus dem „Glückauf" übergegangen in das Polyt. Centralblatt 1866, S. 1316, enthält dem Wesen nach dasselbe wie der obige von Bluhme.

Ueber einzelne Apparate handeln nebst den im Texte bereits citirten die folgenden Artikel:

Notiz über die Anwendung eines Blasbalges, Zeitschrift für das B., H. u. Salinenwesen im Preuss. Staate, 1855, 2. Bd. S. 389.

Ueber den Fabry'schen Ventilator v. Callon, Dingler's polyt. Journal, 1853, S. 343. Ein Lemielle'scher Ventilator mit Zahnräder-Umsetzung (die ältere Construction) ist skizzirt in Rittinger's Mittheil. über die Pariser Ausstellung 1855. Cabany tadelt im Bull. de la soc. de l'ind. minérale 1860, 5. Bd. S. 587, die Ventilatoren von Fabry und Lemielle; Entgegnung des Letzteren, ebendas. 6. Bd. S. 313; Replik v. Cabany, 6. Bd. S. 533. Ueber Kapselräder (rotirende Kolbenmaschinen) von Prof. H. Reuleaux,

Dingl. polyt. Journal 1868, 189. Bd. S. 434. Daten über Roots' Ventilator, Polyt. Centralblatt 1869, S. 1006.

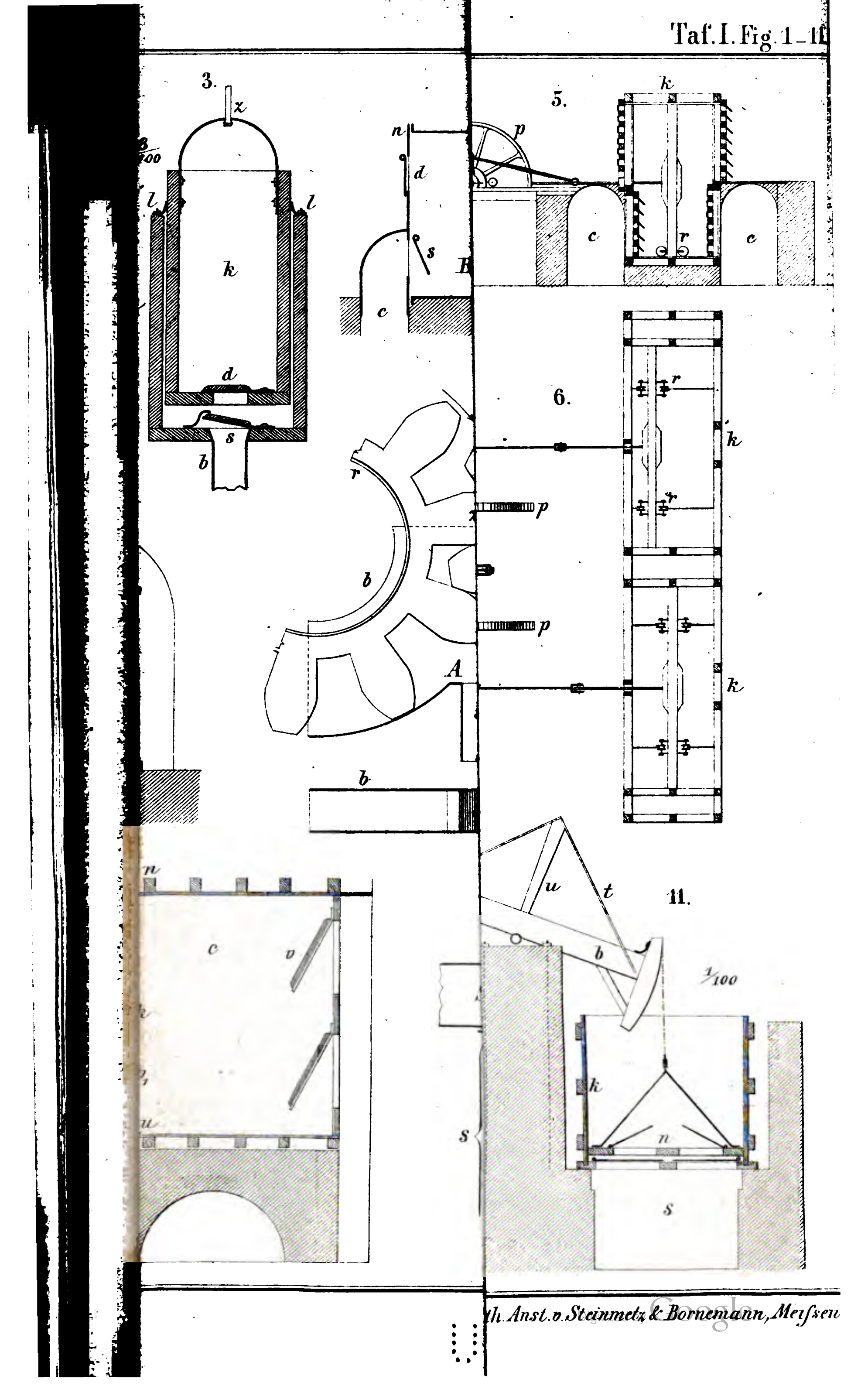
Die Brochure: Die Anwendung des Wasserdampfes bei der Gruben-Wetterhaltung v. Cherblanc, deutsch v. Krause, Gleiwitz 1848, Verlag von S. Landsberger, enthält den Vorschlag, durch den Wetterofen einen Kessel heizen zu lassen, der seinen Dampf in die Esse des Wetterofens leitet.

Ueber Centrifugalventilatoren enthält die ausführlichste Theorie Ritinger's Werk; einen Aufsatz von Résal s. in Ann. des mines, 1854, 5. Bd. S. 456. Förster's Bauzeitung 1856, S. 27 enthält einen ausführlichen Aufsatz über Ventilation und Ventilatoren. Tournaire gibt eine Theorie seines Ventilators in Ann. des mines, 1860, 5. Reihe, 17. Bd. S. 233. Ueber ausgeführte Rittinger'sche Ventilatoren s. Zeitschrift für das B., H. u. Salinenwesen in Preussen, 1861, 9. Bd. S. 189; 1863, 11. Bd., S. 265 (ein Ventilator ohne Transmission mit 13′ Durchmesser und 80 — 100 Umgängen); ein ähnlicher mit 12′ 8″ Durchm. ist beschrieben von Bluhme ebendas., 1865, 13. Bd. S. 184, welcher jedoch den Fehler zeigt, keinen Diffuser zu besitzen, wodurch selbstverständlich die Leistung herabgesetzt wird. Ueber einen von Roha erbauten Rittinger'schen Ventilator s. Oestr. Zeitschrift für B. u. H., 1866, S. 313, dann „Erfahrungen“ 1866, S. 6. Ein solcher Ventilator mit einem dem Flügelrad sich anschliessenden rotirenden Auslaufraum, vertikaler Axe und ebenen Flügeln, durch eine Turbine bewegt, wurde auch von Kraft in Seraing für die Ventilation der Tunnelarbeiten am Mont Cenis construirt, Revue universelle des mines, 1870, 27. Bd. S. 204.

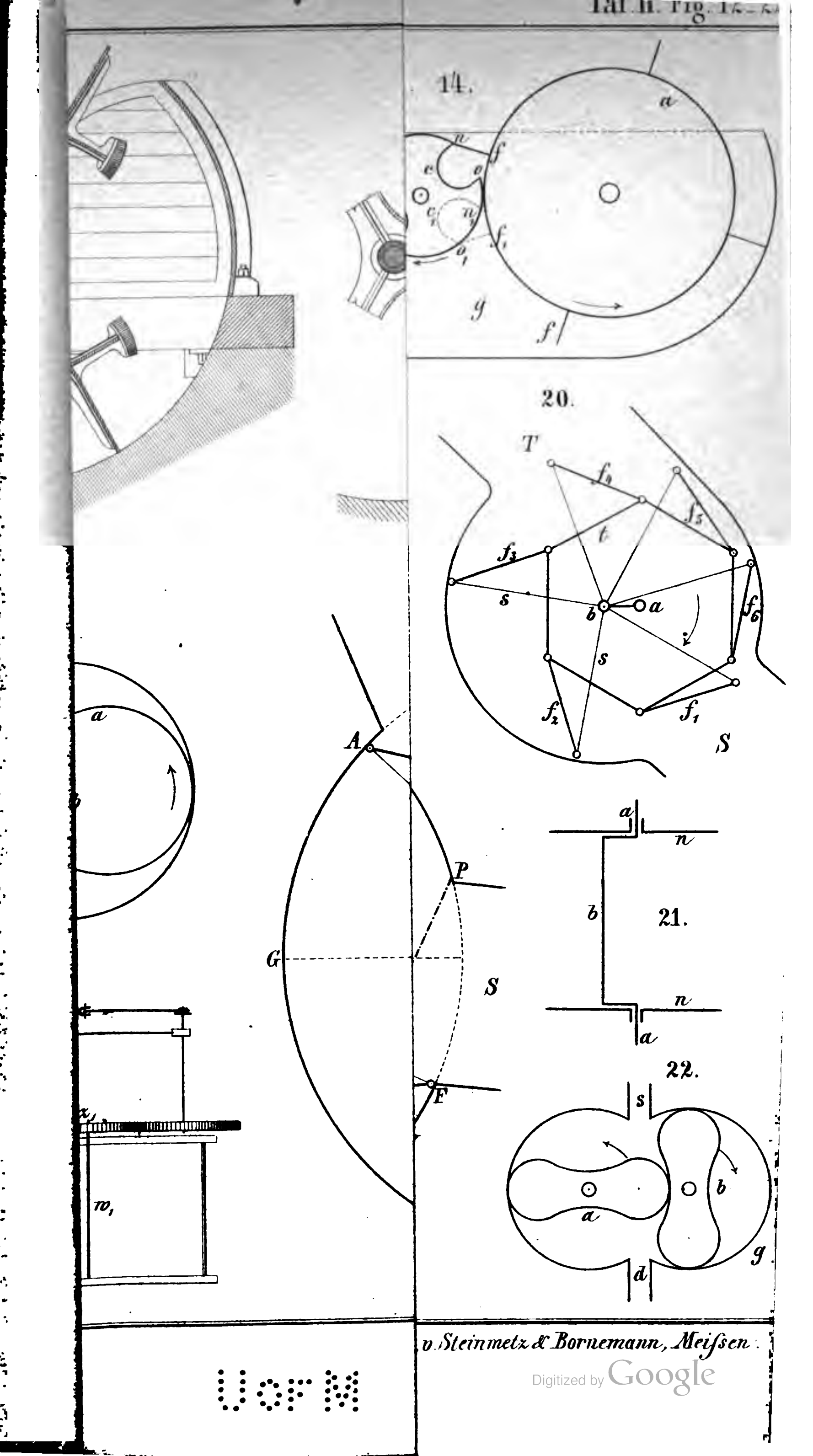
Theorie der Centrifugalventilatoren von Ordinaire de Lacolonge, nebst Versuchsresultaten über einen solchen Apparat mit fast ebenen Flügeln, Paris 1869; Kritik darüber von Prof. Gustav Schmidt in der Zeitschrift des Oestr. Ing.-Vereines 1870, 1. Heft, S. 21. Der Aufsatz über Ventilation der Gruben von Harzé in der Revue univ. des mines 1870, 27. Bd. S. 193 enthält eine Theorie der Centrifugalventilatoren, das Project eines Rittinger'schen Ventilators mit Leitrad, welches das Flügelrad concentrisch umschliesst, und eines Heger'schen Ventilators mit Leitrad ebenfalls für den Austritt, beide mit vertikaler Axe angeordnet.

Der Guibal'sche Ventilator wird von mehreren Seiten sehr empfohlen, so von Burat in dessen „Material des Steinkohlenbergbaues“, von Cabany im Bull. de la soc. de l'ind. minérale, 1861, 6. Bd. S. 533, und von Bluhme, Zeitschr. für das B., H. u. Salinenwesen in Preussen, 1865, 13. Bd. S. 181; s. auch den Aufsatz von Schlehan über Ventilation u. s. w. auf der Tiefbauzeche in Witkowitz, Oestr. Zeitschrift für B. u. H. 1870, S. 17. Ein Handventilator von Schwamkrug mit geraden Flügeln ist beschrieben in Weisbach's Ingenieur- und Maschinen-Mechanik, 3. Bd. S. 1149.

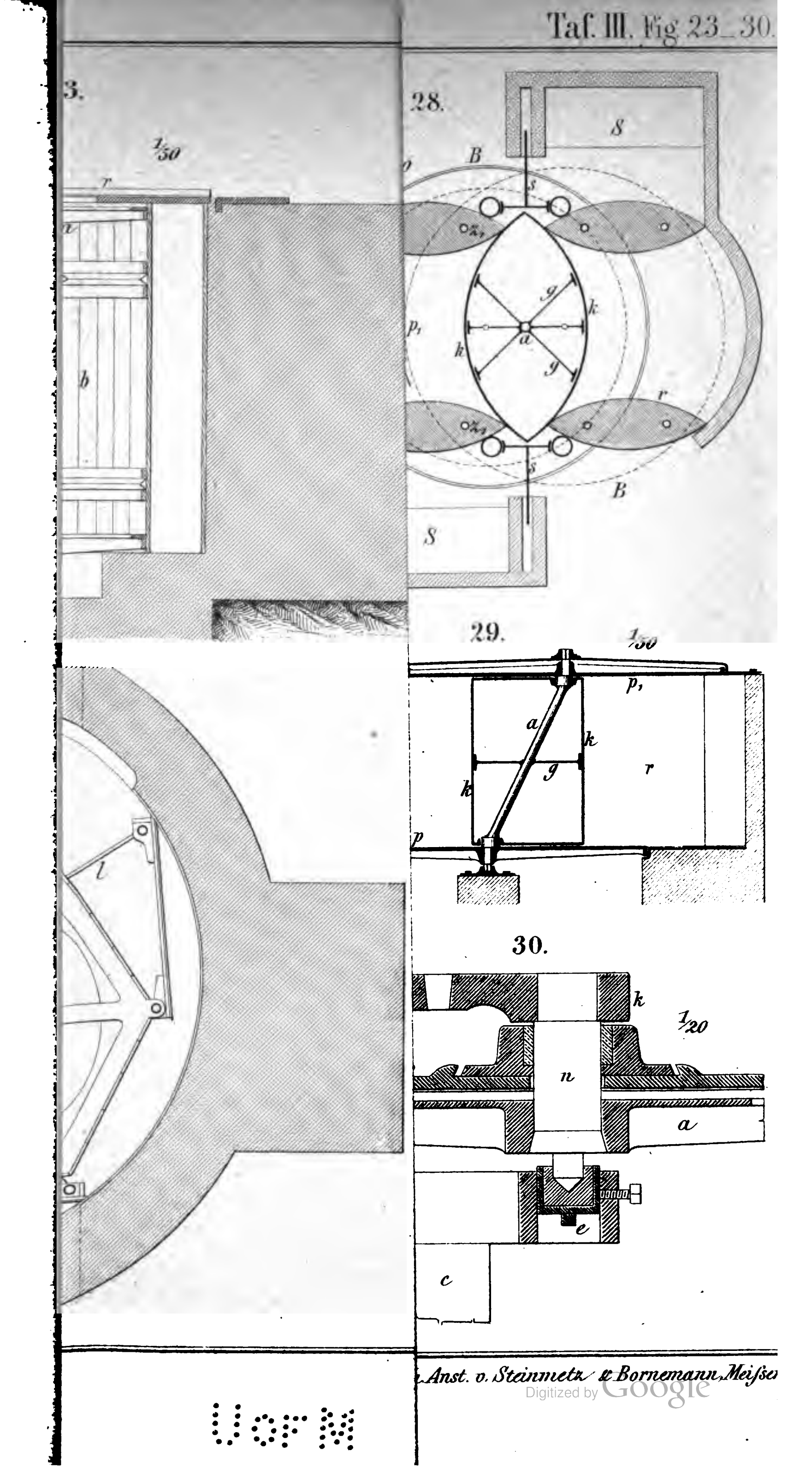
Druck von A. Th. Engelhardt in Leipzig.



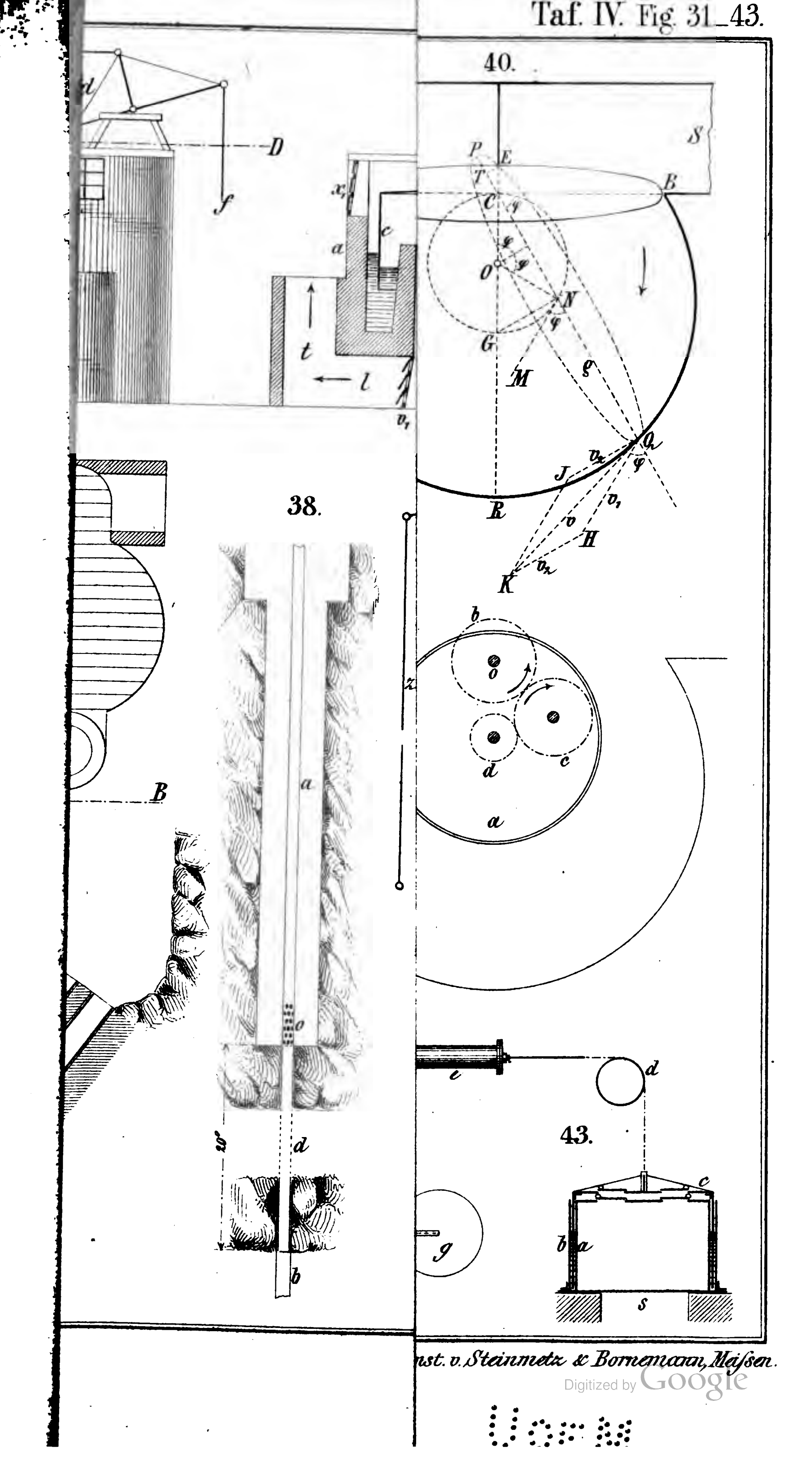
th. Anst. v. Steinmetz & Bornemann, Meissen



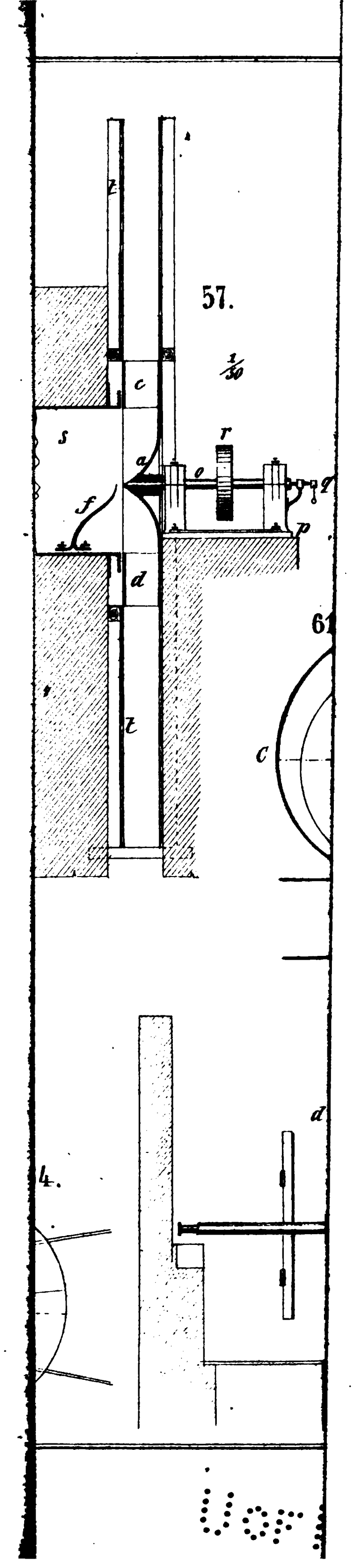
v. Steinmetz & Bornemann, Meissen.



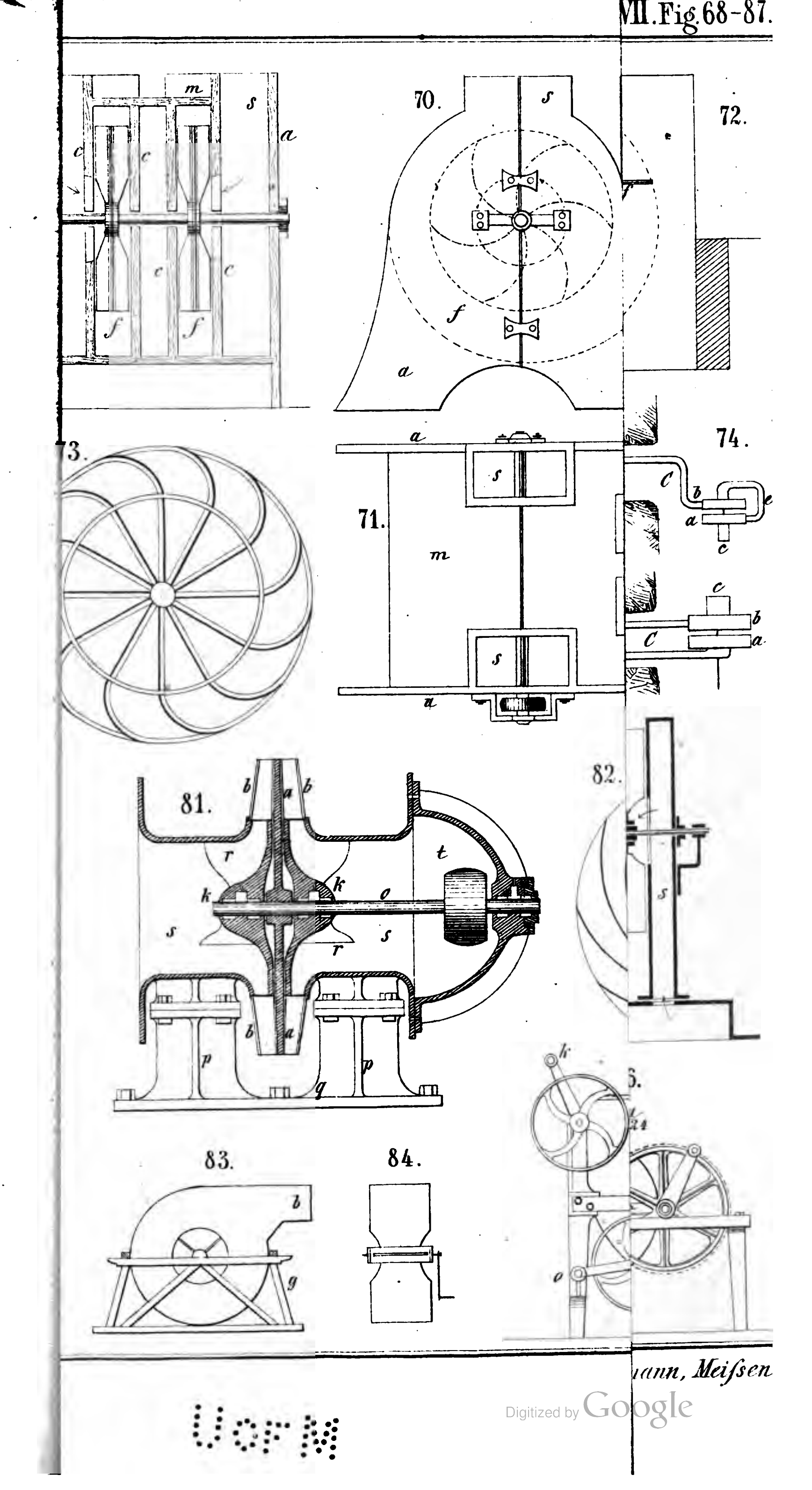
Anst. v. Steinmetz & Bornemann, Meißen



..nst. v. Steinmetz & Bornemann, Meissen.



57.
1/30
t
c
s
r
a
o
q
f
p
d
61
t
C
d
4.


70.
72.
73.
74.
71.
81.
82.
83.
84.
6.

